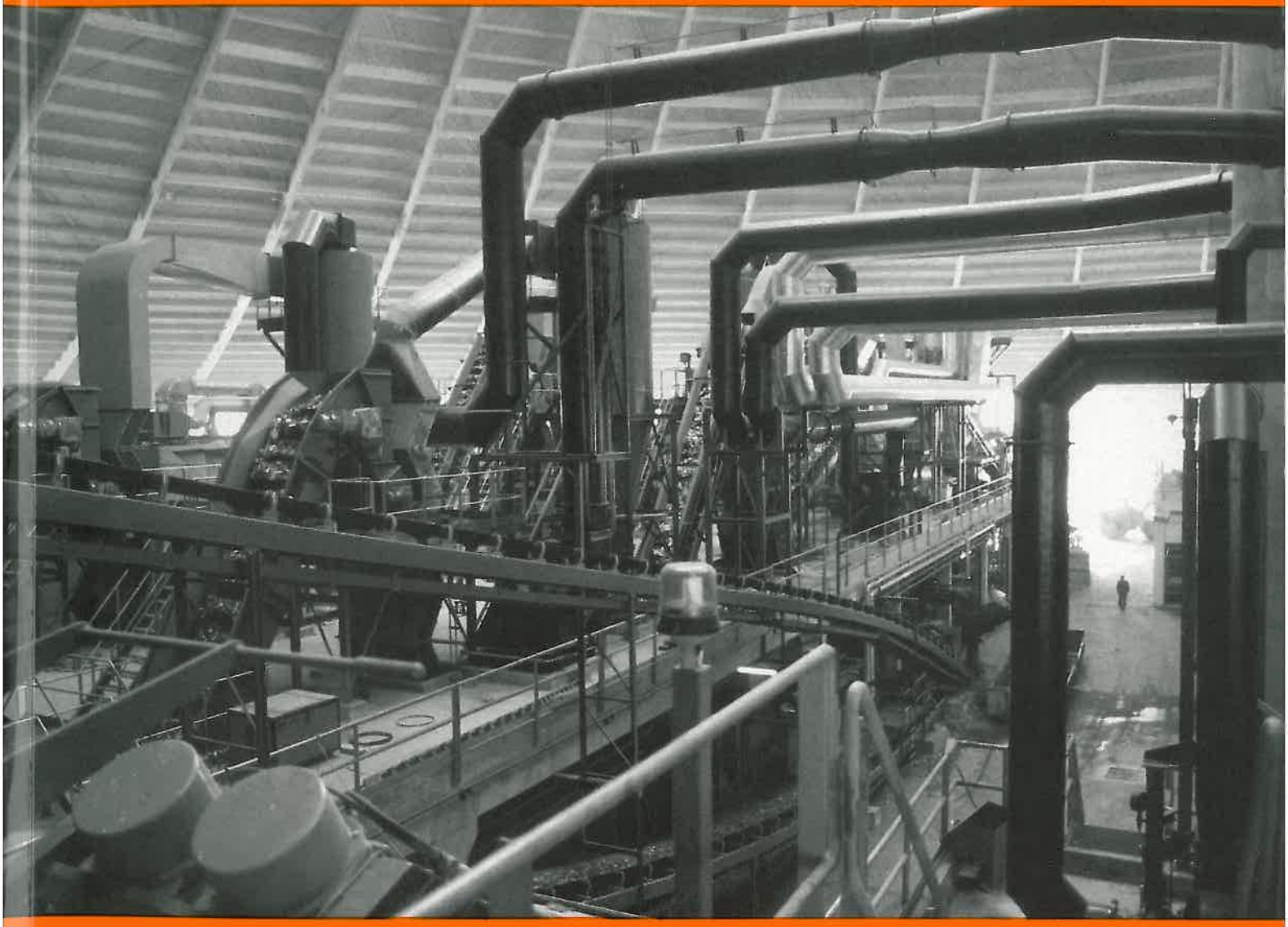
Beihefte zu

Müll und Abfall

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen



21

Recyclinganlagen für Haus- und Gewerbeabfälle

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit – Umweltwirkungen

Von Dr.-Ing. Bernd Bilitewski

A/22 d

Zerkleinern · Verpressen

Thema: Behandlung von festen Abfallstoffen

Umladen

Zuführen

Sieben · Sichten

Sie haben das Material

Hausmüll · Sperrgut ·
Reifen · Industrieabfall ·
Kunststoffe · Kabel ·
Paletten · Müllschrott ·
Holzabfälle · Textilien ·
Batterien · Aluminium-
folien · feste Chemie-
abfälle · Erdkabel ·
Folienrollen · Glasfasern ·
Verpackungsmaterialien ·
Matratzen · Haushaltssperrgut ·
Kabeltrommeln · Teppiche ·
Messing- und Kupferschrott ·
Baumrinden · Aluminium-

LINDEMANN hat für Sie die richtigen Maschinen und Anlagen

Rotorscheren · Sperrgutscheren
Abfallshredder · Holzshredder
Abfallballenpressen · Container-
pressen · Containervorkammer-
pressen · Paketierpressen
Sichter · Siebtrommeln
Abfallzuführmulden
Entstaubungsanlagen
Abfallumschlag-
anlagen · Trennanlagen
Abfallaufbereitungs-
anlagen · Förder-
einrichtungen · Abfall-

LINDEMANN

LINDEMANN KG – GmbH & Co. – Erkrather Straße 401 · Postfach 52 29
D-4000 Düsseldorf 1 · Telefon (02 11) 21 05-0 · Telex 8 581 318

Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes

Recycling-Handbuch

Stand Herbst 1982

Herausgegeben vom Umweltbundesamt

X, 541 Seiten, Großoktav, kartoniert, DM 49,–,
ISBN 3 503 02195 7

Das Recycling-Handbuch ist Leitfaden zur Regenerierung und Wiederverwertung industrieller und kommunaler Rückstände. Es soll sowohl Firmen, bei denen Rückstände anfallen, als auch Behörden und Verwertern als Informationsquelle dienen.

Berichte 7/83

Chemisch-physikalische Analyse von Hausmüll

von Barbara Greiner unter Mitwirkung von Martin Barghoorn, Jürgen Dobberstein, Günter Eder, Joachim Fuchs, Peter Gössele
ARGUS-Arbeitsgruppe Umweltstatistik, TU Berlin
Im Auftrag des Umweltbundesamtes

XIII, 161 Seiten, Großoktav, kartoniert, DM 39,–,
ISBN 3 503 02386 0

Hausmüll ist ein außerordentlich heterogenes und von diversen Einflußgrößen abhängiges Gemenge und daher einer grundlegenden chemischen und physikalischen Analyse nur schwer zugänglich.
Die Studie stellt erstmals Basisdaten für den Bereich „Energie und Schadstoffe" für Abfall aus privaten Haushalten bereit. Diese Basisdaten sollen eine Beurteilung des Hausmülls

– bei den derzeit üblichen Entsorgungsmethoden und
– auf der Ebene „Bundesrepublik Deutschland"

gewährleisten. Stichproben, Probenaufbereitung und Analysenverfahren wurden so gestaltet, daß die Ergebnisse der chemisch-physikalischen Analysen statistisch abgesichert sind.

Berichte 8/83

Einflußgrößen bei häuslichen Abfällen

von Günter Eder, unter Mitwirkung von Martin Barghoorn, Jürgen Dobberstein, Joachim Fuchs, Peter Gössele

ARGUS-Arbeitsgruppe Umweltstatistik, TU Berlin
Im Auftrag des Umweltbundesamtes

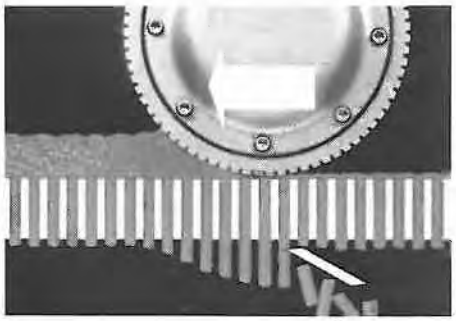
IX, 151 Seiten, Großoktav, kartoniert, DM 38,–,
ISBN 3 503 02387 9

Im Rahmen der Studie wird untersucht, welche Einflußgrößen das Abfallaufkommen und das Abfallverhalten privater Haushalte bestimmen und welche Bedeutung insbesondere der regulären Müllabfuhr in diesem Zusammenhang zukommt.
Die Ergebnisse der Sortieranalysen und der Fragebogenerhebung der „Bundesweiten Hausmüllanalyse 1979/80" wurden nach ausgewählten Gesichtspunkten ausgewertet, auf Zusammenhänge und Strukturen untersucht sowie auf ihre Relevanz als mögliche, das Abfallverhalten und damit das Hausmüllaufkommen und dessen Zusammensetzung beeinflussende Faktoren überprüft.

Erich Schmidt Verlag
Berlin

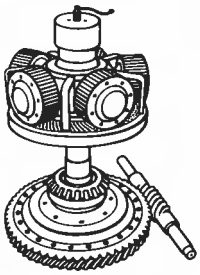
Pellets aus Müll, Altpapier, Stroh, Torf, Holzabfall, Schlamm, Filterstaub...

...Kunststoffabfall werden mit unserem Kompaktiersystem „Kollerstrangpresse mit horizontaler Scheibenmatrize" wirtschaftlich hergestellt. Pelletdurchmesser von 2 mm bis 40 mm. Unser Verfahren besitzt durch die Variationsmöglichkeiten bei den Preßwerkzeugen den größten Anwendungsbereich aller Kompaktiermethoden.



Benutzen Sie unsere Versuchsanlage für eine Probeverpressung.

Kahl Flachmatrizen-System:
Klar im Aufbau,
sicher und wirtschaftlich
im Betrieb



Kahl 1876

Dieselstraße 5
Postfach 12 46
2057 Reinbek bei Hamburg
Telefon (040) 7 27 71–0
Telex 02 178 75 kahl d

AMANDUS KAHL NACHF. HAMBURG

SFW plant, baut und betreibt Anlagen zur Abfall-verwertung

in Partnerschaft mit kommunalen Gebietskörperschaften oder in unternehmerischer Eigenverantwortung

- Abfallsortierungen
- Kompostierungen
- Müllverbrennungen (mit Kraft-Wärme-Kopplung)
- Müllvergasungen

Papier, Metalle, Glas, Kunststoffe, Kompost, sowie Strom und Fernwärme werden von SFW – einer Tochter der Saarbergwerke AG – durch bewährte Techniken bzw. moderne Recycling-Verfahren wiedergewonnen und verwertet.

SFW

Saarberg-Fernwärme GmbH
Sulzbachstraße 26
6600 Saarbrücken
Telefon (0681) 3099-0
Telex 04428722 sfwd

BEZNER

Der jährliche Müllberg

25000000 Tonnen Müll
Hausmüll - Sperrmüll - Geschäftsmüll
16000000 Tonnen
davon werden nach wie vor deponiert!

Wer die Umwelt schützen will, muß sie entlasten!

Man braucht Recycling nicht auf die Spitze zu treiben

aber

ohne Rückgewinnung wertvoller Rohstoffe aus den unterschiedlichen Abfallsortimenten und ohne Aussortierung von Schad- und Problemstoffen ist moderne Abfallwirtschaft künftig nicht mehr denkbar.

Wir haben die Lösung!

BEZNER-Wertstoff-Sortieranlagen

BEZNER

Maschinenfabrik Bezner GmbH & Co. KG
D-7980 Ravensburg
Postfach 1207
Telefon (0751) 3705-0
Telex 732913

Recyclinganlagen für Haus- und Gewerbeabfälle

Grundlagen – Technik – Wirtschaftlichkeit – Umweltwirkungen

Von Dr.-Ing. Bernd Bilitewski

ERICH SCHMIDT VERLAG

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Bilitewski, Bernd:
Recyclinganlagen für Haus- und Gewerbeabfälle /
Bernd Bilitewski. – Berlin: E. Schmidt, 1985.
(Beihefte zu Müll und Abfall; H. 21)
ISBN 3-503-02479-4
NE: Müll und Abfall / Beihefte

Bild auf dem Umschlag:
Recyclinganlage für Hausmüll

ISBN 3 503 02479 4

Alle Rechte vorbehalten
© Erich Schmidt Verlag GmbH, Berlin 1985
Druck: Regensberg, Münster

BRAM-Herstellung mit Erfolg heisst BRINI-Verfahren

Das BRINI-Verfahren zur Trennung von Müll hat sich mehr als 20 Mal bewährt

- Hochwertiger Brennstoff
- Geringer Aschegehalt
- Weniger Energieverbrauch
- Hohe Brennstoffgewinnung

Müll ist eine Möglichkeit!

PLM Miljöteknik AB

Sturkögatan 2 S-21124 MALMÖ
Tel +46-40-209000 Teletex 89300545

RECYCLOPLAST

Stoffliches Recycling:

Wirtschaftliche Kunststoffmüll-verwertung.

Ein sinnvoller Entsorgungs-beitrag.

Das RECYCLOPLAST®-Verfahren verwandelt Kunststoffmüll aus Grüner Tonne, Containersammlungen und Gewerbe* rückstandsfrei zu neuen Fertigprodukten mit großem Markt.

Produktvorgabe und -vermarktung auf Wunsch durch RECYCLOPLAST AG.

Vorteilhafte Kommunalprodukte – für Tiefbau, Entwässerung, Garten- und Landschaftsbau, Transportwesen – schließen den Verwertungskreislauf zum Teil im eigenen Entsorgungsgebiet.

* auch Verbundkunststoffe

Ständig neue Produkt-entwicklung.

Fordern Sie Information und Beratung bei

RECYCLOPLAST AG
8195 Egling-Neukolbing 1
Tel. 0 81 76 - 521
Tx. 526 376

Vorwort

In der Öffentlichkeit wird seit einiger Zeit die Forderung an die abfallbeseitigungspflichtigen Städte und Landkreise nach vermehrtem Einsatz von Recyclinganlagen gestellt. Neben dem Wunsch nach einer höheren Abfallverwertungsquote werden neue Sammlungsmethoden und eine umfassende Abfallvermeidungsstrategie gefordert.

Die Entsorgungspflichtigen, die sich mit der Entscheidung über eine Abfallbehandlungsmethode befassen müssen, sind durch die Diskussion der Fachleute über die erheblichen Anfangsschwierigkeiten von Recyclinganlagen in Eastbourne, Doncaster, Wijster, Lövsta, Karlskrona, Herten und dem Konkurs der Recyclinganlage in Wien verunsichert. Der Schaden für das Materialrecycling und das Vertrauen der betroffenen Bevölkerung in diese neue Abfallbehandlungsmethode zur Bewältigung der anstehenden Umweltprobleme ist unübersehbar.

Neben diesen negativen Beispielen gibt es eine Reihe von Anlagen, die beweisen, daß Recyclinganlagen funktionieren und erfolgreich betrieben werden können. Viele verschiedene Systeme werden angeboten, aber welche funktionieren wirklich und für welche Abfälle und Abfallzusammensetzungen sind sie entwickelt worden?

Die Analyse der gescheiterten Projekte hat gezeigt, daß die Vorplanung der Anlage, die Abfallanalyse, die Einsammeltechnik und die Festlegung der Recyclingprodukte für das spätere Gelingen entscheidend sind.

Dieses Beiheft soll einen Überblick über die verschiedenen Techniken, die Wirtschaftlichkeit und die Schadstoffe von Recyclinganlagen geben und eine Hilfestellung für die Planung und Einbindung solcher Anlagen in die regionale Abfallentsorgung bieten. Neben einer Gegenüberstellung der zur Zeit interessantesten Alternativen soll die Erörterung der wichtigsten Randbedingungen für die Planung und den Betrieb der Anlagen bei der Entscheidungsfindung behilflich sein.

Januar 1985 Dr.-Ing. Bernd Bilitewski

LOESCHE-Müllcascaden-Mühlen erzeugen homogenes Gemisch aus Rohmüll und Klärschlamm Produktfeinheit 20 mm*

Die kurze konische Bauart der LOESCHE-Müllcascade bewirkt die optimale Homogenisierung von verschiedenen Mahlgütern. Durch Bewegung im Mahlbett entsteht Selbstzerkleinerung. Auch zähe Stoffe und Textilien werden gleichmässig aufgemahlen.

Die Entwicklung der Cascadenmühle begann 1928 in den USA für die Zerkleinerung von Erzen. Grosse Cascadenmühlen mit 6,7 m ø starteten erstmals 1959. Sie laufen grundsätzlich im 3-Schicht-Betrieb. Die niedrige Mühlendrehzahl führt zu ruhigem Lauf und geringem Abrieb der Panzerung. Die Verfügbarkeit der robusten Cascadenmühlen liegt im Jahresdurchschnitt über 90 %.

Der Mahlgutfluss im Bereich der Müllcascade ist unten schematisch dargestellt. Angedeutet sind die Möglichkeiten der Abscheidung verschiedener Müllbestandteile zur Verbesserung des Produktes.

LOESCHE-Müllcascaden-Einheiten stehen für Durchsatzleistungen von 10 t/h bis 100 t/h Müll und Klärschlamm zur Verfügung. Je nach Art und Beschaffenheit müssen Industrie- und Sperrmüll-Chargen in geeigneter Weise vorzerkleinert werden.

LOESCHE plant, liefert und betreut die Mahlanlagen bis zur Inbetriebsetzung und Abnahme. Für Inspektionen und Wartungsarbeiten stehen LOESCHE-Fachleute bereit.

"... Bei der Müllzerkleinerung muss damit gerechnet werden, dass unkontrolliert Brennstoffe in den Mahlraum gelangen. Zündquellen können nicht ganz ausgeschlossen werden. Bei der Vermahlung von Hausmüll zusammen mit Klärschlamm in einer LOESCHE-Müllcascaden-Mühle ist jedoch die Wahrscheinlichkeit eines Brand- oder Explosionsereignisses äusserst gering." (Stellungnahme der Bergbau-Versuchsstrecke vom 11. 05. 1978). Explosions-Schutzmassnahmen sind nicht erforderlich.

Der spezifische Arbeitsbedarf bei Zerkleinerung von Rohmüll mit Zusatz von eingedicktem Klärschlamm beträgt 16 bis 28 kWh/t (Motorwelle) entsprechend der gewünschten Produktfeinheit und Mischungsfeuchte.

Hohe Geschwindigkeit = hoher Verschleiß! Die Müllcascade arbeitet mit etwa 4 m/s Mahlgeschwindigkeit (Prall-, Hammer- und Reissmühlen mit 35 – 65 m/s). Der spezifische Bruttoverschleiss einer LOESCHE-Müllcascade – Panzerung und Mahlkugeln – liegt bei etwa 9 g/kWh.

Die LOESCHE-Müllcascade bietet nach mehrjähriger erfolgreicher Entwicklung die rationelle Möglichkeit der Zerkleinerung, Homogenisierung und Mischung von Müll, Abfällen und Klärschlamm.

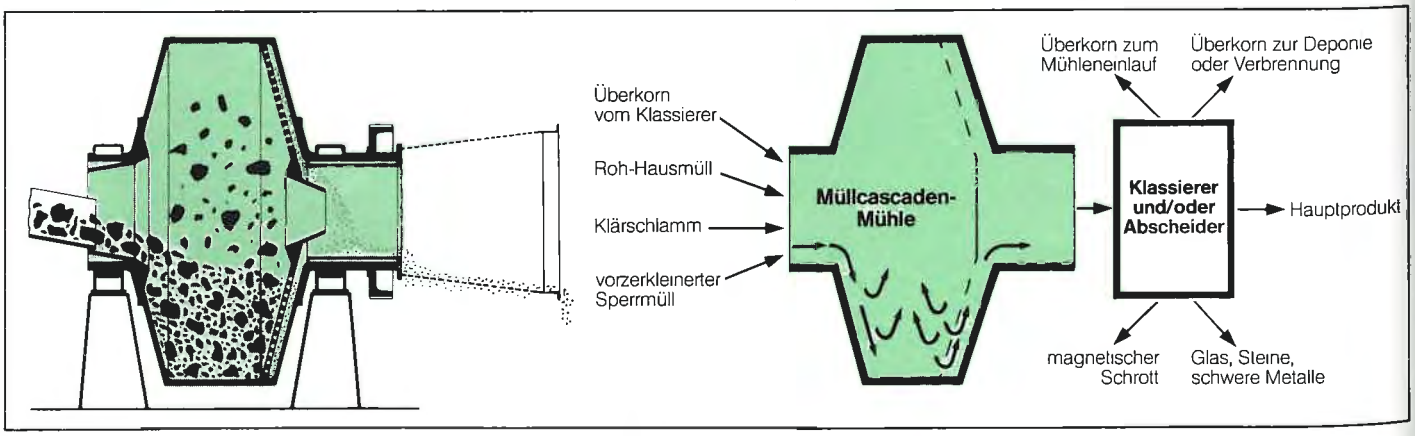
Das Schüttgewicht von Rohmüll beträgt 80 bis 200 kg/m^3. Das erzeugte Produkt der Cascadenmühle, – magnetischer Schrott abgeschieden –, hat ein Schüttgewicht von 400 bis 500 kg/m^3. Nach dieser Volumenreduzierung eignet sich das Cascadenmühlenprodukt zur wirtschaftlichen, raumsparenden Deponie.

Das homogene Cascadenmühlenprodukt ermöglicht sehr gleichmässigen Verbrennungsrostbetrieb.

Die hohe Gleichmässigkeit des Mahlproduktes bietet gute Möglichkeiten der Weiterverarbeitung durch Recycling, z.B. für Festbrennstofferzeugung, Kompostherstellung usw.

Erfahrene LOESCHE-Verfahrensingenieure stehen mit Antworten auf Ihre Fragen, mit Planung und Angebot zu Ihrer Verfügung.

* mittlere Produktfeinheit d' gemäss RRSB-Netz DIN 66145, d.h. 36,8 % Rückstand auf dem 20 mm-Sieb.



LOESCHE

LOESCHE GMBH
D-4000 DÜSSELDORF 1
STEINSTRASSE 18 · POSTFACH 5226
TEL. (0211) 8901-0 · TELEX 8582656

1. Inhaltsverzeichnis

		Seite
	Vorwort	5
1.	**Inhaltsverzeichnis**	7
2.	**Einleitung**	9
2.1	Die Alternativen der Abfallbehandlung	9
2.1.1	Geordnete Deponie	9
2.1.2	Abfallverbrennung	9
2.1.3	Kompostierung	10
2.1.4	Pyrolyse	10
2.2	Recycling durch Abfallsortieranlagen	11
2.2.1	Das Konzept	11
2.2.2	Der anzuliefernde Abfall	11
2.2.3	Der Stand der Technik	11
2.2.4	Die Organisationsform	12
2.2.5	Der Absatz der Produkte	12
2.2.6	Sicherheit und Reservehaltung	13
2.2.7	Restprobleme und Möglichkeiten zur Optimierung	13
3.	**Grundlagen für die Planung**	14
3.1	Definition des zu verarbeitenden Abfalls	14
3.1.1	Der Einfluß der Behältergröße auf den Abfall	14
3.1.2	Die Abfallzusammensetzung nach Stoffgruppen	18
3.1.3	Die Schwankungen der relativen und absoluten Stoffmengen	19
3.1.4	Die Schwankungen der Dichte und des Feuchtigkeitsgehaltes	22
3.1.5	Die Korngrößenverteilung des Abfalls	23
3.1.6	Die Abfallzusammensetzung und ihre Auswirkung auf den Heizwert und die Schadstoffe	24
3.2	Marktanalyse und Marktgestaltung	28
3.2.1	Produktverkauf und Leistungsparameter	30
3.2.2	Preisgestaltung und Kundendienstleistungen	31
3.3	Organisation	33
3.3.1	Die Organisation der getrennten Sammlung	33
3.3.1.1	Das Modell der „Grünen Tonne“	34
3.3.1.2	Die Auswirkungen der „Grünen Tonne“ auf den Betrieb einer Recyclinganlage	34
3.3.2	Die Betriebsführung einer Recyclinganlage	36
4.	**Technische Grundlagen**	37
4.1	Zerkleinerung	38
4.1.1	Zerkleinerungsmaschinen für Recyclinganlagen	38
4.1.1.1	Hammermühlen	38
4.1.1.2	Prallmühlen	38
4.1.1.3	Schneidmühlen und Rotorscheren	38
4.1.1.4	Cascadenmühlen	39
4.1.1.5	SPC-3	39
4.1.1.6	Siebraspel	40
4.1.2	Technische Gesichtspunkte der Abfallzerkleinerung	40
4.1.2.1	Parameter der Endkörnung	40
4.1.2.2	Parameter des spezifischen Arbeitsbedarfs	45
4.2	Sieben	47
4.2.1	Grundlagen der Siebklassierung	47
4.2.2	Siebmaschinen für Recyclinganlagen	48
4.2.2.1	Trommelsieb	48
4.2.2.2	Spannwellensieb	49
4.2.2.3	Ballistischer Separator	49
4.2.2.4	Auswahlkriterien für eine Siebmaschine	50

Seite

4.3 Windsichten ... 50
4.3.1 Grundlagen des Windsichtens ... 51
4.3.2 Windsichtertypen in Recyclinganlagen ... 51
4.3.3 Probleme und Einsatzmöglichkeiten von Windsichtern ... 53

4.4 Verdichten ... 53
4.4.1 Pelletiermaschinen in Recyclinganlagen ... 54
4.4.2 Probleme und Einsatzmöglichkeiten von Pelletierpressen ... 55

5. Übersicht über die verschiedenen Sortiersysteme ... 56
5.1 Bezner-Wertstoff-Sortieranlage ... 56
5.2 BIAS ... 56
5.3 BINAB ... 58
5.4 Blue Circle Industries ... 59
5.5 Bühler-Miag ... 59
5.6 ENADIMSA ... 61
5.7 3E/Berlin Consult (Tollemache) ... 62
5.8 ESDEX ... 64
5.9 GMP ... 64
5.10 GUA-Verfahren ... 65
5.11 G.U.T.-Verfahren ... 66
5.12 Hazemag ... 68
5.13 Horstmann Fördertechnik ... 69
5.14 INTRADEL ... 70
5.15 Motherwell Bridge ... 71
5.16 MVU – Mannesmann VEBA Umwelttechnik ... 72
5.17 ORFA-Verfahren ... 73
5.18 PLM – BRINI Verfahren ... 74
5.19 Revalord/BRGM ... 76
5.20 Schönmackers ... 77
5.21 SBM-Wageneder ... 78
5.22 SFW – Saarberg Fernwärme ... 79
5.23 Sorain Cecchini ... 79
5.24 Trienekens - U.T.G. ... 80
5.25 T.U.C. AG ... 82
5.26 VAM-Fläkt ... 82
5.27 VISNO-Maschinenfabrik B. V. ... 83
5.28 Voest-Alpine AG ... 84
5.29 Waagner-Biro ... 85

6. Die Produkte und ihre Eigenschaften ... 87
6.1 Brennstoff aus Müll ... 87
6.2 Kompostrohfraktion ... 89

7. Schadstoff-, Material- und Energiebilanzen ... 97
7.1 Die Schadstoffverteilung durch den Sortierprozeß ... 97
7.1.1 Emissionen durch die Verbrennung von BRAM ... 100
7.1.2 Schadstoffwirkung durch Kompost ... 102
7.1.2.1 Die Veränderung der Bodeneigenschaften durch die Kompostzugabe ... 106
7.1.2.2 Die Veränderung der Pflanzeninhaltstoffe durch die Kompostzugabe ... 109
7.2 Material- und Energiebilanz ... 112

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Herstellung von BRAM ... 114
8.1 Die Ermittlung des Anlagekapitalbedarfs ... 114
8.2 Betriebswirtschaftliche Darstellung ... 115
8.2.1 Kosten ... 115
8.2.2 Erlöse ... 115
8.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ... 116

9. Verzeichnis der Recyclinganlagen ... 118

10. Literaturverzeichnis ... 119

2. Einleitung

2.1 Die Alternativen der Abfallbehandlung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt fallen ca 30 Mio. t/a Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der Bundesrepublik Deutschland an. In der nachfolgenden Tabelle 2.1 ist das Abfallaufkommen, die Abfallbeseitigung und ihr Stellenwert innerhalb der Abfallwirtschaft von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen dargestellt. Für die Behandlung und Beseitigung von Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbemüll gibt es zur Zeit nur zwei genutzte Möglichkeiten: die Verbrennung und die geordnete Deponie. Die anderen Abfallbehandlungsmethoden wie Kompostierung, Sortierung und Pyrolyse entsorgen zusammen weniger als 5 % der Bevölkerung.

2.1.1 Geordnete Deponie

Über 60 % der Abfälle werden zur Zeit auf geordneten Deponien untergebracht. Der Vorteil der Deponierung als alleinige Beseitigungsmethode von Abfällen beruht auf der einfachen Technik, die eingesetzt werden muß, und kurzfristigen betriebswirtschaftlichen Überlegungen mit geringen spezifischen Entsorgungskosten, die je nach Lage, Größe und Errichtungszeitpunkt zwischen 20,-- und 50,-- DM/t Abfall liegen.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik kann eine geordnete Deponie so betrieben werden, daß die Belästigung der Anlieger und eine Gefährdung der Umwelt durch Sickerwasser, Geruch, Brand- und Explosionsgefahr weitgehend vermieden werden. Trotzdem bleibt die Deponie, auf der der gesamte Abfall abgelagert wird, eine Belastung für die Umwelt durch Emissionen von Stäuben und Mikroorganismen während der Einbauzeit, die einer kleineren Fabrik entsprechen. Nach Abschluß der Deponie besteht ein potentielles Risiko durch die Wasserdampfdestillation im Innern des Deponiekörpers, die Schadstoffe im Sickerwasser und im Gas anreichert und entstehen läßt, und damit die Umwelt belastet.

Die geringen Kosten der Deponie haben den Nachteil, daß sinnvollere Alternativen wie die Material- und Energienutzung der Abfälle nicht genutzt werden, obwohl geeigneter Deponieraum eine nicht erneuerbare Resource darstellt. Die Deponie stellt aber einen wichtigen Bestandteil der Abfallwirtschaft dar, weil auch bei der Einrichtung von Verbrennungsanlagen, bei der Kompostierung, dem Materialrecycling und der getrennten Sammlung von Wertstoffen entsprechende Reststoffmengen anfallen, die auf eine Restedeponie verbracht werden müssen.

Bestehende geordnete Deponien werden also immer wertvoller, und da es bislang noch keine Entsorgungsmethode gibt, die auf eine Restedeponie verzichten kann, sollten alle neuen Methoden in der Abfallwirtschaft auch unter dem Gesichtspunkt betrachtet werden, in wieweit sie in der Lage sind, die vorhandenen Deponiemöglichkeiten zu verlängern.

2.1.2 Abfallverbrennung

Die Abfallverbrennung ist in den industrialisierten Staaten die am weitesten entwickelte thermische Abfallbehandlungstechnik. Sie bietet optimale Voraussetzungen, um drei wichtige Ziele der Abfallwirtschaft zu erfüllen:

- Hygienisierung der Abfälle,
- Gewichtsreduktion auf ca. 40 % und Volumenreduktion auf ca. 20 % des Ausgangsmaterials
- Nutzung als Energiequelle und der Nebenprodukte aus der Schlacke.

Folgende Probleme ergeben sich bei der Gesamtmüllverbrennung:

- Unabhängig von der Beschaffenheit wird der

Tabelle 2.1
Zusammenstellung der Abfallbehandlungsmethoden und deren Stellenwert innerhalb der Abfallwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland für Ende 1984

Abfallbehandlungs-methode	Entsorgungs-anlagen	angeschlossene Einwohner in %	Anteil am gesamten Hausmüll in %
1	2	3	4
1 Müllverbrennung	46	33,43	26,33
2 Kompostierung	17	4,29	2,26
3 Pyrolyse	1	0,04	0,03
4 Sortierung	2	0,49	0,51
5 Deponie	520	61,75	70,87

Abfall in den Ofen eingebracht. Schwankende Anlieferungsmengen, ungleichmäßiger Heizwert und verschiedene Abfallarten bringen Probleme beim Betrieb der Anlage oder dürfen nicht in den Ofen eingebracht werden.
- Die Verbrennungsanlagen emittieren Rauchgase und Stäube, die eine große Belastung für die Umwelt darstellen. Bei einem Ein satz einer Rauchgaswäsche sind suspendierte und gelöste Stoffe im Abwasser zu reinigen oder Salze als Feststoffe zu deponieren.
- Abfallverbrennungsanlagen sind sowohl in der Errichtung als auch im Betrieb eine besonders teure Form der Abfallentsorgung. Je nach installierter Verbrennungsleistung liegen die spezifischen Investitionskosten zwischen 2,0 – 4,8 Mio. DM pro t/h und die spezifischen Bruttobetriebskosten zwischen 60 – 160 DM/t Abfall.
- Die Erlöse sind aufgrund politischer, geographischer und jahreszeitlicher Gegebenheiten sehr gering. Da eine ganzjährige Abnahme von Dampf selten gewährleistet ist, liegt der ganzjährige Wirkungsgrad für die im Abfall enthaltene Energie oftmals nur um 20 %.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik und einer vernünftigen Absatzplanung lassen sich ein großer Teil der obigen Probleme lösen. Auch dampfförmige Schwermetalle wie Quecksilber und hochtoxische Substanzen wie polychlorierte Biphenyle (PCB), Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) lassen sich durch geeignete Maßnahmen wirkungsvoll begrenzen. Die Probleme treten hier vor allem bei Altanlagen mit überholter Feuerungs- und Kesseltechnik auf. So haben ca. 60 % der bundesdeutschen Abfallverbrennungsanlagen gegenwärtig noch immer keine Rauchgaswäsche installiert.

2.1.3 Kompostierung

In der Bundesrepublik werden ca. 3 % des Hausmülls in Kompostierungsanlagen verarbeitet. Als Grund für diesen geringen Anteil an der Abfallentsorgung werden folgende Nachteile genannt:

- Die ursprünglich einfachen und robusten Kompostierungstechnologien sind aufgrund der im Laufe der Zeit veränderten Abfallzusammensetzung mangelhaft an den Rohstoff angepaßt, so daß größere Abfallmengen nicht verarbeitet werden können, sondern extra verbrannt oder deponiert werden müssen. Dieser technische Mangel beruht aber nicht nur auf der wechselnden Inputqualität des Abfalls, sondern auch auf den wechselnden Mikroorganismen, die eine komplexere Technologie mit einer automatisierbaren Prozeßführung verhindern.
- Das Kompostprodukt enthält einen hohen Gehalt an Schadstoffen, insbesondere Schwermetalle und Salze, und ist während der Herstellung eine Geruchsbelästigung.
- Die Kompostierung stellt zur Zeit eine teure Behandlungsmethode dar, da das Produkt nicht oder mit zu geringen Erlösen abgesetzt werden kann. Außerdem bedeutet die Kompostierung eine unvollständige Entsorgung, die zusätzliche Einrichtungen erfordert.

Im Gegensatz dazu können auch einige Argumente genannt werden, die die Vorteile der Kompostierung aufzeigen:

- Die Kompostierung ist ein einfacheres Verfahren als z.B. die Müllverbrennung. Sie erzeugt ein Produkt, das als organischer Dünger und Strukturverbesserer den Humusanteil der Böden verbessern, der Bodenerosion und Versauerung und Erkrankung der Wälder entgegenwirken kann.
- Hinsichtlich der Kompostierungstechnik ist keine Lösung anzustreben , mit der der Gesamtabfall kompostiert werden kann. Kompostierungsanlagen sollten vielmehr nicht als eigenständige Methode der Abfallbehandlung, sondern als Baustein innerhalb eines Gesamtentsorgungskonzeptes (z.B. als Teil der Abfallsortierung, der getrennten Sammlung, als Bedarfskompostierung auf der Deponie, etc.) angesehen werden.
- Kompostqualitäten und Schadstoffbelastung lassen sich durch Zusätze und technische Maßnahmen wirkungsvoll verbessern bzw. eingrenzen.
- Anlagen zur Kompostierung von geeigneten Abfallströmen (z.B. Laub, Garten- und Küchenabfälle, etc.) entlasten andere Abfallbehandlungsanlagen, wie die Deponie, Verbrennung, Sortierung und Pyrolyse, einmal durch eine Verringerung der Abfallmenge und zweitens durch die Entfernung der heizwertarmen und feuchten organischen Abfallbestandteile.

2.1.4 Pyrolyse

Anfang der siebziger Jahre wurde die Pyrolyse als Behandlungsmethode für Abfälle vorgeschlagen und die technische Entwicklung vorangetrieben. Von der Pyrolyse, ein Sammelbegriff für die Ent- und Vergasung, wurde gegenüber den herkömmlichen Abfallbeseitigungstechnologien folgende Vorteile erwartet:

- Einfache Technologie, die auch bei Durchsatzleistungen von 5 – 10 t/h kostengünstig arbeitet.
- Größere Flexibilität gegenüber schwankenden Abfallzusammensetzungen mit einer gleichzeitigen Entsorgungsmöglichkeit für Klärschlämme und Sonderabfälle.
- Möglichkeiten zur Gewinnung von Rohstoffen und einem lagerfähigen Pyrolysegas als Energieträger.
- Eine geringere Umweltbeeinträchtigung durch den Einsatz der Pyrolysetechnologie, durch effizientere Gas- und Abwasserreinigungsanlagen.

Eine Vielzahl von Verfahren wurden erprobt und vorgestellt. Aber wenige erreichten bzw. bestanden den gewünschten Zuverlässigkeitsgrad im Betrieb. Die erste Betriebsanlage in Frankfurt mit einem geplanten Durchsatz von 200 t/d nach dem Prinzip von Andco Torrax wurde bereits 1981 wieder abgerissen.

Zur Zeit ist nur eine Betriebsanlage für Haushaltsabfälle und Klärschlamm mit einem Entsorgungsauftrag von 2 x 3 t/h in Burgau bei Günzberg nach dem BKMJ-Verfahren in Betrieb. Weitere Prototyp- und Versuchsanlagen sind bei Koblenz, Aalen, Salzgitter und Ebenhausen im Erprobungsbetrieb.

2.2 Recycling durch Abfallsortieranlagen

In den frühen siebziger Jahren wurden in aller Welt Versuche unternommen, mittels komplexerer Recyclinganlagen einzelne Fraktionen im Müll möglichst sortenrein wiederzugewinnen. Von der anfänglichen Euphorie – jeden Bestandteil des Hausmülls mit Maschinen aussortieren zu können – ist nur wenig übriggeblieben. Der technische Einsatz ist groß und deswegen teuer. Es kann bereits auf eine Reihe von gescheiterten Konzepten zurückgeblickt werden. Für die einfacheren politischen und technischen Gemüter bedeutete dies das Ende des Recyclings, und man konnte zur abfallwirtschaftlichen Tagesordnung übergehen: Abfallverbrennung und Deponie.

Bei einer näheren Betrachtung der gescheiterten Modelle stellte sich sehr schnell heraus, daß durch die Analyse der Fehler sich neue Erkenntnisse, Möglichkeiten und zukünftige Tendenzen für das Materialrecycling auftaten. So komplex und schwierig die Vorgänge im Detail und im einzelnen Fall auch sein mögen, so sind bei allen Projekten grundlegende Fehler gemeinsamer Art gemacht worden (und werden wieder gemacht, wie gegenwärtige Projekte zeigen), die auch für andere entsorgungspflichtige Körperschaften von Nutzen sein können. Die Untersuchungen dieser mißlungenen Konzepte zeigen, daß ein technisch sicheres Recyclingkonzept wirtschaftlich installiert und betrieben werden kann, ohne den einmal eingeschlagenen zukunftsweisenden Weg des Materialrecycling zu verlassen.

Welche Hauptpunkte von einer Gebietskörperschaft bei der Planung berücksichtigt werden müssen, um ein so komplexes Problem wie das Materialrecycling mittels einer neuen Technologie bewältigen zu können, soll im folgenden, um in der Zukunft Fehler zu vermeiden, aufgelistet werden.

2.2.1 Das Konzept

Für die Planung eines Abfallbeseitigungskonzeptes müssen für die zukünftige Entwicklung klare Zielvorstellungen formuliert und die Konsequenzen hinsichtlich der juristischen, wirtschaftlichen und technischen Auswirkungen und Anforderungen durchdacht und umgesetzt werden.

Dabei steht am Anfang die politische Entscheidung, welche technischen Lösungen gewählt werden sollen. Jedem Entscheidungsgremium der für die Abfallbeseitigung zuständigen Gebietskörperschaften, aber auch jedem einzelnen Bürger muß klar sein, daß jede technische Lösung auf alle Fälle die Deponie als notwendige Ergänzung bedarf.

Zunächst sollte eine abfallwirtschaftliche Planung erstellt werden, deren Ziel neben der vollständigen Erfassung und Entsorgung den schrittweisen Ausbau des Rohstoff- und Energierecycling aus Abfällen darstellt. Dies mit der volkswirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Absicht, neben der weitestgehenden Wiederverwertung der Abfälle auch die gleichzeitige Minimierung der Umweltbelastungen unter den wirtschaftlich festgelegten Bedingungen anzustreben.

Für die detaillierte Planung der Rohstoffrückgewinnung müssen die nachfolgenden Punkte sorgfältig und umfassend untersucht werden.

2.2.2 Der anzuliefernde Abfall

In vielen Fällen sind die betrieblichen Schwierigkeiten von Recyclinganlagen auf fehlende oder ungenaue und flüchtig durchgeführte Analysen der zu verarbeitenden Abfälle zurückzuführen. Trotz niederschmetternder Erfahrungen aufgrund von mangelndem Datenmaterial schreiben abfallbeseitigungspflichtige Körperschaften Recyclinganlagen aus, bei der in der Regel relativ genaue Kenntnisse über die Abfallmengen, aber kaum Wissen um die qualitativen, physikalischen und chemischen Eigenschaften des Abfalls vorhanden sind. Es stellt einen groben Managementfehler dar, den Abfallinput nicht im Detail zu kennen, da sowohl die nachfolgende Technik als auch die Qualität und Quantität der Kuppelprodukte aus dem Sammel- bzw. Sortierprozeß davon abhängig sind. Der finanzielle Aufwand für eine Jahresanalyse über die Abfallzusammensetzung von ca. 200.000 DM steht in keinem Verhältnis zu dem technischen und wirtschaftlichen Risiko, das eine falsch konzipierte Recyclinganlage oder Einsammelstrategie für mehrere Millionen DM darstellt.

2.2.3 Der Stand der Technik

Die Sortierung der Rohstoffe aus dem Hausmüll stellte sich sehr viel schwieriger als erwartet heraus. Sind die vielfältigen Bestandteile des Hausmülls erst einmal miteinander vermischt, hängen die Recyclingmöglichkeiten entscheidend davon ab, wie gut die einzelnen Fraktionen wie Papier, Glas, Aluminium und Kunststoffe wieder separiert werden können. Da in Abfallaufbereitungsanlagen im wesentlichen Zerkleinerungs-, Mischungs- und Trennvorgänge ablaufen, wird mit den verfahrenstechnischen Kennzahlen "Ausbeute, Selektivität und Reinheitsgrad" unmittelbar ein Maß für die Aufbereitungsqualität gegeben. In den Produktionsströmen werden aufgrund unvollkommener Trennleistungen des Verfahrens neben der gewünschten Fraktion immer stoffremde Anteile gefunden. Dabei erweist sich die bestehende Aufbereitungstechnik als weitgehend ungeeignet, Stoffe selektiv und mit hohem Reinheitsgrad wiederzugewinnen.

Aus den ursprünglich komplexen Technologien haben sich in den letzten Jahren robuste und einfache

Verfahren herausgebildet, die nach zwei Gesichtspunkten arbeiten:

- Die getrennte Wertstofferfassung, die nach den Modellen "Schalksmühle, Konstanz, MKMS-System, Grüne Tonne etc." mit einer einfachen nachgeschalteten mechanischen und/oder händischen Aufbereitung arbeitet. Neben vielfältigen Wertstoffen wie Glas, Papier, Pappe, Kunststoffe etc. ist ein guter Kompost wiederzugewinnen.
- Mechanische Sortieranlagen, die sich auf die Wiedergewinnung der im Abfall gebundenen Energie konzentriert haben, indem aus Pappe, Papier, Folien und Textilien ein Brennstoff hergestellt wird. Neben dem Schrott können Holzhackschnitzel und ein vergleichsweise guter Kompost erzielt werden.

Der Vorteil einfacher und robuster Recyclinganlagen besteht darin, daß ein hohes Maß an Flexibilität erhalten bleibt. Daher sollten die Anlagen modular aufgebaut sein, um Veränderungen im Input, der Marktverhältnisse für aus der Anlage kommende Recyclingprodukte und um die verschiedenen Möglichkeiten, ein funktionierendes Verfahren laufend zu verbessern, rasch und kostengünstig berücksichtigen zu können. Einfache Sortieranlagen schließen andere Abfallbeseitigungsmethoden wie die Kompostierung, die Rohstoffrückgewinnung in Form von Papier, Pappe, Glas etc. oder Energie und die getrennte Sammlung nicht aus, sondern ergänzen diese Methoden sinnvoll durch eine verbesserte Stoffreinheit und Flexibilität auf dem Markt.

Das Schlagwort "Stand der Technik" hat, wie die Analyse der gescheiterten Recyclingvorhaben zeigt, zu den ersten Mißverständnissen und Fehlmaßnahmen der abfallbeseitigungspflichtigen Körperschaften geführt. Entschließt man sich, ein Recyclingverfahren für die Abfallbeseitigung zu wählen, so kann man eine Reihe von Aggregaten und technischen Varianten finden, die sich für die Sortierung des Abfalls eignen. Neben dieser genormten Hardware gibt es auch sinnvolle Ansätze für eine genormte Software. Da sich aber die Hardware in Form von einzelnen Aggregaten und Verfahrensschritten nicht beliebig miteinander koppeln lassen, sondern sich z.B. bestimmte Zerkleinerungs- und Trenntechniken gegenseitig ausschließen, muß sie, wie die noch wichtigere Software einer solchen Anlage, den örtlichen Verhältnissen angepaßt werden.

2.2.4 Die Organisationsform

Eine Recyclinganlage hat sowohl die Entsorgungsaufgabe als auch die Herstellung und den Absatz der Produkte auf dem Markt zu gewährleisten. Diese zwiespältige Funktion einer solchen Anlage wirft zwangsläufig bei der Suche nach Organisationsmodellen auch die Frage nach einem öffentlichen oder privatwirtschaftlichen Organisationsträger auf.

Der Charakter der Recyclinganlage als eine öffentliche Entsorgungsanlage erleichtert die Beantwortung keineswegs. Der Auffassung, daß aus dem Umstand der für die Allgemeinheit wichtigen Aufgabe auch eine öffentlich-rechtliche Organisationsform entstehen soll, steht die mit einer Ausgliederung verbundene Forderung nach größerer Effizienz in der Aufgabenbewältigung gegenüber.

Da beim Betrieb von Recyclinganlagen, so wie bei allen bekannten Abfallbehandlungsmethoden, Nettobeseitigungskosten entstehen, muß auch für den Fall der privat-rechtlichen Lösung ein Entgeld an den Verarbeiter des Abfalls bezahlt werden. Da die Höhe dieses Entgeldes aber auch die Höhe des möglichen Gewinnes determiniert, ist auch bei einer rein privaten Lösung mit politischem Widerspruch zu rechnen.

Privatwirtschaftlich geführte Projektgesellschaften mit Beteiligungsrechten von Gebietskörperschaften, privater Industrie und Banken lassen die besten Ergebnisse hinsichtlich der Betriebsführung, des Produktabsatzes und der Wirtschaftlichkeit im Sinne des einzelnen Bürgers erwarten.

2.2.5 Der Absatz der Produkte

Die Abfallverbrennungsanlagen verringern die zu deponierenden Restmengen auf ca. 40 Gew.-% oder 20 Vol.-%. Um mit dieser hohen Reduktionsrate konkurrieren zu können, wurde von Firmen vielfach zu viel versprochen. In Wien, wo von den Initiatoren "100%-iges Recycling" versprochen wurde, hatte sich niemand, auch nicht die Stadt Wien, richtig darum gekümmert, die wirtschaftlichen Konsequenzen eines solchen Versprechens näher zu betrachten. Es wurde übersehen, daß die Sortierprodukte aus Abfall Rohstoffe von minderer Qualität darstellen, die mit billigen und qualitativ besseren Produkten konkurrieren müssen.

Für heutige Sortieranlagen bietet sich die Herstellung eines Brennstoffes als Priorität an. Die Wirtschaft ist immer an Energiequellen interesssiert, die billiger als die konventionellen Energieträger wie Erdgas, Kohle und Erdöl sind. Wünschenswert wäre es für den Betreiber, wenn die Verwertung des Hauptproduktes zu einem fungiblen Energieträger wie Elektrizität oder Dampf gelingt, da dies für den potentiellen Abnehmer eine bekannte Energieform ist. Die Erlöse aus der Energie decken dann rund zwei Drittel der Betriebskosten einer solchen Anlage.

Bei diesen Sortierprozessen entsteht immer auch eine Kompostrohfraktion, die weiter aufbereitet werden kann. Dabei sollte die Kalkulation einer Anlage so aufgebaut werden, daß das Hauptprodukt Energie oder BRAM zum entscheidenden Erlösbringer wird.

Alle Nebenprodukte wie Folien, Pappen, Schotter, Fe-Schrott oder noch nicht fertig entwickelte Produkte wie Kompost oder Ziegelzuschlagstoffe sollten nur eine Unterstützungsfunktion haben, um den Produktabsatz und damit die Kalkulation positiv beeinflussen zu können.

2.2.6 Sicherheit und Reservehaltung

Bei der Auslegung einer Sortieranlage muß der Gesichtspunkt einer gesicherten Entsorgung der Stadt im Vordergrund stehen. Dazu sind im Aufbereitungsprozeß großzügige Überkapazitäten zu berücksichtigen, um eine größtmögliche Verarbeitungskapazität und Verfügbarkeit sicherzustellen. Damit können auch die saisonal stark schwankenden Anlieferungsmengen und die kurzzeitigen Schwankungen der Abfallzusammensetzung bewältigt werden. Neben den Reserven bei den Finanzen und der Möglichkeit, mehrere Produktabnehmer zu haben, stellt die notwendige Reststoffdeponie die wichtigste Sicherheitsreserve dar.

2.2.7 Restprobleme und Möglichkeiten zur Optimierung

Wie bei jeder komplexen Technologie gibt es eine Reihe von Problemen, die man erst dann vernünftig lösen kann, wenn die Anlage bereits im Betrieb ist. Eine neue Technologie wie das Abfallrecycling bietet besonders viele Möglichkeiten der Optimierung und Anpassung an die speziellen Bedürfnisse der zu entsorgenden Gebiete.

Wer den Anspruch stellt, eine solche Anlage nicht nur schlüsselfertig, sondern bis ins letzte Detail funktionsfähig angeboten zu bekommen, wird sicherlich scheitern. Wichtig ist dabei zu wissen, welches die wesentlichen und die unwesentlichen Punkte sind.

Ist die Anlage installiert, so gibt es im laufenden Betrieb eine Reihe von aussichtsreichen Möglichkeiten, den Gesamtnutzen der Anlage zu optimieren:

- Optimierung der Produktqualität durch veränderte Sammlungsmethoden (Wertstoff- und Schadstoffsammlung) sowie Veränderung der Einsammelrouten,
- Entwicklung neuer Produkte oder Produktabnehmer (Einsatz eines Remakers, Herstellung von Glasbausteinen, Glaswolle, Abdeckplanen etc.),
- Reduktion der eigenen Energiekosten durch optimale Regelungstechnik, eigene Energieherstellung und praxisgerechte Anpassung aller Verbrauchseinheiten,
- Senkung der Verschleiß- und Ersatzteile durch eine engagierte und intelligente Betriebsführung,
- Steigerung der Produkterlöse vor allem für den Kompost durch laufende Verbesserung der Produktqualität und konzentriertes Marketing.

Genutzt werden können diese Möglichkeiten nur, wenn an der Anlage umfangreiche Messungen durchgeführt werden können. Jeder, der solche Anlagen betreibt, weiß, in welchem Ausmaß es möglich ist, Betriebskosten zu senken, wenn man nur über die Einzelheiten der Aggregate, des Abfalls und des Verfahrens weiterführende Kenntnisse hat. Ist dafür kein ständiges Personal vorgesehen, so muß ein gut dotiertes Forschungsbudget die Möglichkeit bieten, sich Leute von außen zu besorgen.

3. Grundlagen für die Planung

Bevor die Einrichtung einer Energie- oder Rohstoffwiedergewinnungsanlage ernsthaft in Erwägung gezogen wird, sind Analysen des zu verarbeitenden Abfalls, eine umfangreiche Marktanalyse für den Produktabsatz und die beste Organisationsform unumgänglich. Erst danach können die erforderlichen technischen Grundlagen und verschiedenen Sortiersysteme sinnvoll diskutiert und ausgewählt werden.

3.1 Definition des zu verarbeitenden Abfalls

Noch vielfach werden Ausschreibungen mit Jahresdurchschnittszahlen, unter Umständen noch auf Grundlage landesweiter Erhebungen, durchgeführt. Schwerwiegende Abweichungen von den so ermittelten Verarbeitungskapazitäten und Wiedergewinnungsraten sind die Folge. Daher können für die Planung auf dem Gebiet des Recyclings Durchschnittsziffern, Daten über spezifische Abfallmengen (kg/ Einwohner und Jahr) und überschlägige Daten der Abfallzusammensetzung nur ein erster Hinweis für die Planung sein.

Der Haus-, Sperr- und Geschäftsabfall kann quantitativ und qualitativ in einem weiten Bereich schwanken. Als mögliche Ursachen können dafür folgende wesentliche Einflußfaktoren angegeben werden, wobei die Reihenfolge keine Hierarchie darstellen soll:

1. Größe der entsorgten Gemeinde,
2. Geschäfts- und Gewerbemüllanteil, der gemeinsam mit dem Hausmüll gesammelt wird,
3. zeitliche Entwicklung im Verlauf der Jahre durch Veränderung der Konsum- und Lebensgewohnheiten, des Lebensstandards und der Gewerbestruktur, sowie Einflüsse der allgemeinen konjunkturellen Wirtschaftslage,
4. die wechselnden Jahreszeiten,
5. örtliche und regionale Unterschiede hinsichtlich der Wirtsschaftskraft, der Sozial- und Gebietsstruktur,
6. Behältergröße (bzw. spezifisches Behältervolumen in l/E und Tag), Behälterart (Papier- oder Kunststoffsack),
7. Personenzahl eines entsorgten Gebäudes,
8. Frequenz und Organisation der Sperrmüllabfuhr,
9. Alternativen zur regelmäßigen Abfallentsorgung für den Abfallproduzenten, wie z. B. die Recyclingbehälter für Papier und Glas oder der Besitz eines Gartens, in dem vegetabile Bestandteile des Abfalls kompostiert werden können, etc. und
10. Höhe und Staffelung der Gebührenordnung für die Haus- und Sperrmüllabfuhr.

Die Größe der zu entsorgenden Gemeinde und deren Einfluß auf die Menge und Zusammensetzung des Abfalls wurde vor ca. 10 – 15 Jahren von folgenden Autoren (58,45) bereits sorgfältig untersucht. Dabei stellten sie fest, daß die Mengen und die Zusammensetzung des Abfalls von der Größe und Struktur der Siedlungszentren in dem gesamten Siedlungsraum maßgebend beeinflußt wird.

Kleinbetriebe, Gaststätten, Geschäfte und kleine Büros sind weitgehend über die normale Hausmüllabfuhr an die Entsorgung angeschlossen, so daß sie, wie Knoch (39) aufzeigt, die Abfallmengen pro Kopf beeinflussen. Größere Betriebe werden zumeist durch Großbehälter separat entsorgt. Dieser Abfall aus Großbehältern wird in der Statistik als Gewerbeabfall geführt, beinhaltet aber bei genauerer Betrachtung ein großes Recyclingpotential. Böhm, Belitz, Luboschik (14) und Wienbeck (75) haben durch Untersuchungen gezeigt, daß der Hauptanteil des Gewerbeabfalls der Stadt Hamburg aus Geschäftsabfall mit einem hausmüllähnlichen Charakter besteht.

In Tabelle 3.1 wird der Anteil der Geschäftsabfälle und des Sperrmülls am Gesamtabfall dargestellt. Die Geschäfts- oder hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle beeinflussen das Material- und Energierecycling durch den hohen Anteil an Papier, Pappe, Holz, Folien etc. positiv. Schwierig kann sich dagegen eine maschinelle und automatisierte Behandlung aufgrund des hohen Anteils an sperrigen Bestandteilen gestalten.

3.1.1 Der Einfluß der Behältergröße auf den Abfall

Durch die Umstellung der Einsammelbehälter zu größeren Systemen konnten die Kosten der Sammlung, die jahrelang überproportional anstiegen, im Verhältnis zu den gesammten Abfallbehandlungskosten je nach Siedlungsstruktur etwa auf der Kostenrelation von 1976 gehalten werden. Während der gewichtete Teuerungsindex für Personal, Kfz, Diesel, Reifen, Behälter, etc. im Zeitraum 1976 1984 auf das 1,45-fache stieg, mußten die Gebühren im gleichen Zeitraum nur um das 1,36-fache gesteigert werden. Dabei wurde der Abfall hinsichtlich

- seiner Mengen,
- seiner Zusammensetzung,
- seines Raumgewichtes und seiner Korngröße

aufgrund der veränderten Einsammelbehälter beeinflußt.

Während der Zusammenhang zwischen der Behältergröße und dem Anteil an Sperrmüllaufkommen in der Hausmüllabfuhr seit geraumer Zeit bekannt war, wurde eine Beziehung zwischen Behälterraumangebot und der Menge des Haushaltsabfalls lange nicht so deutlich gesehen. Erstmals wurde von Jäger (35) aufgrund empirischer

Tabelle 3.1
Anteil von Haus-, Geschäfts- und Sperrmüll für die Stadt Hamburg 1973 und für die Bundesrepublik Deutschland von 1979/80.

	Abfallkomponente	Hamburg (6) 1973		Bundesrepublik (7) 1979/80	
		t/a	%	t/a	%
	1	2	3	4	5
1	Haushaltsabfall	480.000	54,5	15.000.000	60,0
2	Geschäftsabfälle	300.000	34,1	7.800.000	31,2
3	Sperrmüll	100.000	11,4	2.200.000	8,8
4	Gesamtabfall	880.000	100,0	25.000.000	100,0

Untersuchungen eine Berechnung der Hausmüllmengen aus dem spezifischen Behältervolumen durchgeführt.

Die von Blaurock (13) vorgestellten Ergebnisse zeigen, daß mit der Systemumstellung ein Zuwachs an bereitgestelltem Behältervolumen um 135% mit einem schlagartigen Anstieg der Abfallmengen um ca. 25 Gew-% einherging. Absolut stieg damit der Abfall um ca. 60 kg pro Einwohner und Jahr. Dieser Effekt konnte auch ca. 10 Jahre später bei der Bundesweiten Hausmüllanalyse (BHMA) durch die TU-Berlin 1979/80 in den Städten Hamm, Ansbach und dem Landkreis Bruchsal beobachtet werden, als vom 35/50 l-ME-System auf das 120/240 l-MGB-System umgestellt wurde.

Aufbauend auf den Untersuchungen der TU-Hannover, durchgeführt von Gallenkemper (24,25,26) gemeinsam mit Doedens (18), konnte die TU-Berlin diese Untersuchungen weitgehend bestätigen und in ihrem Informationsgehalt ausweiten. In der folgenden Tabelle 3.2 werden die Durchschnittswerte des spezifischen Behältervolumens und der spezifischen Hausmüllmenge für Stadt und Land dargestellt.

Die Behältergröße hat nicht nur einen Einfluß auf die anfallenden Sperrmüllmengen, sondern auch eine Bedeutung für die Zusammensetzung des zu verarbeitenden Abfalls. Bereits frühzeitig wurde von Nicolai (48) vermutet, daß durch ein geringeres Behälterangebot die Bürger sich veranlaßt sehen, sorgsamer mit ihrem verfügbaren Volumen umzugehen. Ein knappes spezifisches Behältervolumen, so wird ausgeführt, begünstigt das Recycling, die eigene Bedarfskompostierung bei Gartenbesitzern und abfallbewußteres Denken. Reichliches Behälterangebot bietet Platz für zusätzlichen Abfall und provoziert die Abfallerzeuger zum "Wegwerf-Denken".

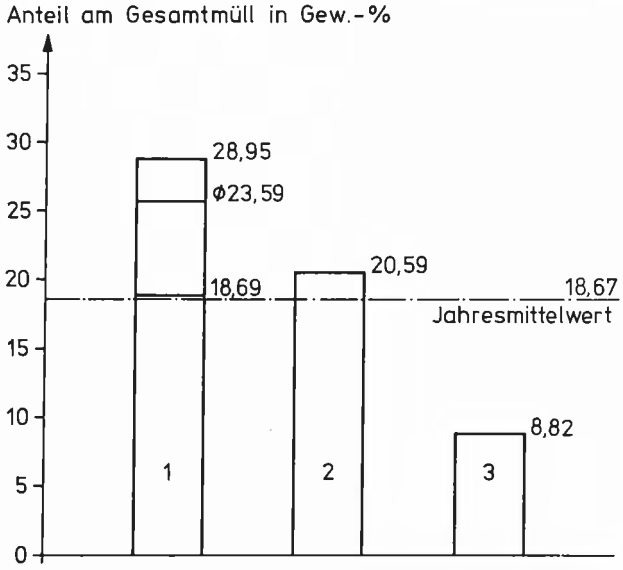
Seyfried, Doedens und Tuminski (57) konnten in einer Untersuchung nachweisen, daß die Teilnahme an dem Altglasrecycling mit steigendem Angebot an Behältervolumen für den Hausmüll abnimmt.Das gestiegene Behältervolumen pro Kopf der Bevölkerung führt scheinbar besonders bei den Gartenbesitzern zu der Einstellung (19), daß das schon einmal bezahlte Behältervolumen möglichst vollständig ausgenutzt werden muß. In der folgenden Abbildung 3.1 ist der vegetabile Anteil im Hausmüll von unterschiedlichen Stadtbezirken Wiens graphisch dargestellt. Der Jahresmittelwert für den vegetabilen Anteil im Jahre 1982 betrug 18,67 %. Gegenüber dem Jahresmittelwert steigt der Anteil der Vegetabilien für den Spätsommer/Herbst in Gebieten mit Kleingärten und einem großen Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern auf Mittelwerte um 23,59 % an. Auch die extremen Wochenwerte für den August sind angeführt. Zum Vergleich dazu ist der vegetabile Anteil für ein Neubaugebiet und für die Innenstadt Wiens angegeben. Der vegetabile Anteil

Tabelle 3.2
Durchschnittswerte für spezifisches Behältervolumen und spezifische Hausmüllmenge für Stadt, Land und Bund aus der BHMA 1979/80 (20).

	spez. Behältervolumen		spez. Hausmüllmenge	
	l/E.W	l/E.d	kg/E.W	kg/E.a
1	2	3	4	5
BRD	35,7	5,1	4,67	243,7
Stadt	34,4	4,9	4,58	239,0
Land	37,2	5,3	4,75	247,9

Abb. 3.1
Gegenüberstellung des vegetabilen Anteils im Hausmüll der Stadt Wien für August 1982 in

1. **Stadtbezirken mit vorstädtischem Charakter (Mittelwert)**
   - **unterer Wochenwert im August**
   - **oberer Wochenwert im August**
2. **Einer Neubausiedlung Wiens im sozialen Wohnungsbau mit überwiegend 1100 l-MGB.**
3. **Vegetabiler Anteil für September/Oktober 1983 aus dem Stadtkern von Wien (1.Bezirk) (120,240,1100 l-MGB)**



aus der Innenstadt Wiens beschränkt sich nur auf die Küchenabfälle der Bewohner, von Restaurants und Cafés, während sonst auch Rasenschnitt, Blumen, Blätter und Unkraut gefunden werden können.

In den Abbildungen 3.2 und 3.3 sind das Abfallaufkommen und die wichtigsten Inhaltsstoffe des Abfalls in Abhängigkeit vom angebotenen Behältervolumen pro Einwohner für die Stadt und für das Land dargestellt. Es wird dabei deutlich, daß der Hauptbeitrag für die Abfallsteigerung für das Land von den Vegetabilien ausgeht und je nach spezifischem Behältervolumen von 2,48 kg über 3,03 kg auf 4,41 kg pro Einwohner und Woche im Jahresdurchschnitt ansteigt. Bei spezifischen Behältervolumen von mehr als 70 l/E.W steigt der Anteil des Gartenabfalls auf ca. 60% der vegetabilen Abfälle oder auf 135 kg Gartenabfall pro Einwohner und Jahr. In der Stadt ist dieser Einfluß ebenfalls nachweisbar, aber wesentlich undramatischer. Hier tragen vorrangig die Verpackungen zum Abfallanstieg bei. Wenn zu dem Verpackungsanteil noch die Papierabfälle hinzugezählt werden, liegt dieser wertbestimmende Anteil des Abfalls bei einem Behältervolumen von über 50 l pro Einwohner für die Stadt bei ca. 50% des Gesamtmülls.

Auf dem Land steigen auch alle anderen Abfallkomponenten neben den bereits erwähnten Gartenabfällen mit dem spezifischen Behältervolumen an. Stärker als anderswo treten hier die mineralischen Bestandteile in Erscheinung, die unter der Rubrik "Rest" subsumiert sind. Auch der für das Recycling wertvolle Anteil wie Verpackungsmaterial und Papier nimmt absolut gesehen mit dem steigenden spezifischen Behältervolumen zu, relativ betrachtet sind diese Anteile aber rückläufig.

Besteht ein für den Bürger zu geringes Behälterangebot, so werden Hausmüllbestandteile und Gartenabfälle gemeinsam mit der Sperrmüllabfuhr entsorgt. Damit steigen die Sammel- und Transportkosten für die Sperrmüllabfuhr verstärkt an, so daß eine Einführung von größeren Hausmüllgefäßen für den Bürger billiger wird. Durch die Vergrößerung des spezifischen Behältervolumens steigt der Haus- und Sperrmüllanteil aber nicht beliebig an, sondern stabilisiert sich auf einem Niveau gemäß der sozioökonomischen Umgebung, der Siedlungsstruktur und dem entsprechenden Abfall- und Recyclingbewußtsein der Bürger.

Bei unserer Untersuchung über das Recyclingpotential von großen Wechselbehältern von 12 – 16 m^3 in den Wiener Randbezirken, die zur Erfassung von Sperr- und Hausmüll auf öffentlichem Gelände aufgestellt sind, ergab sich eine deutliche Verschiebung der Abfallzusammensetzung gegenüber der üblichen Systemabfuhr (siehe Tab.3.5).

Unter Berücksichtigung der hier gewonnenen Erkenntnisse, daß mit steigendem spezifischen Behältervolumen der Anteil der Wertstoffe wie Papier,

Abb. 3.2
Abfallaufkommen und -zusammensetzung unterteilt nach den wichtigsten Inhaltsstoffen in Abhängigkeit vom spezifischen Behältervolumen – Stadt (20)

STADT (1101 Tonnen)

	spezifisches Behältervolumen		
	< 30 l	30-40 l	> 40 l
Anzahl d. Blöcke	20	21	10
mittleres Beh.Vol. (l/E·d)	3,66	4,89	6,19
Hausmüll (kg/E·a)	207	256	285

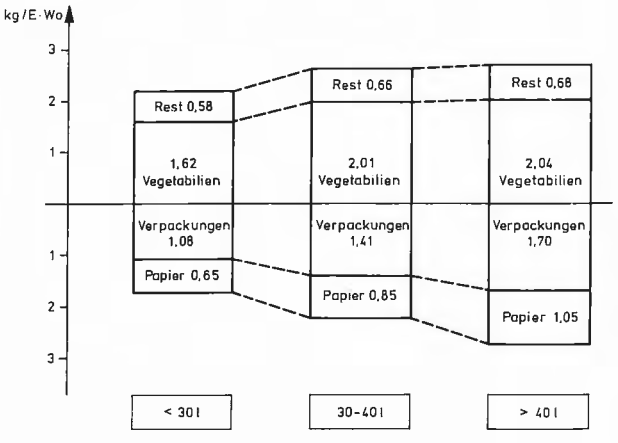
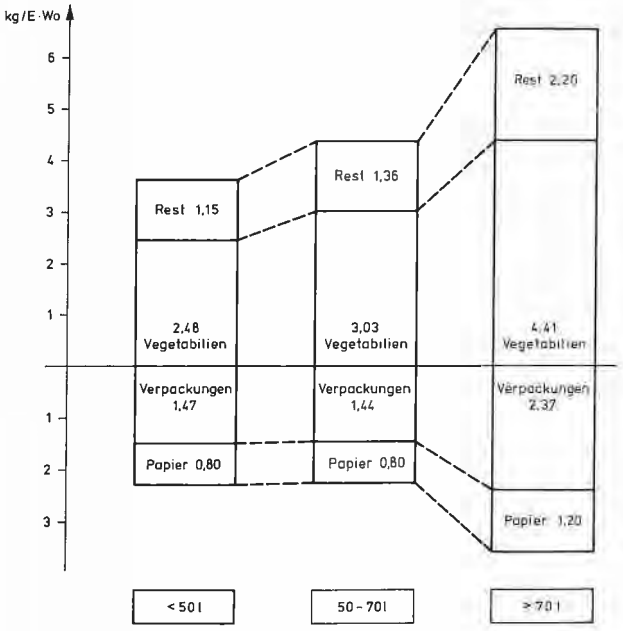


Abb. 3.3
Abfallaufkommen und -zusammensetzung unterteilt nach den wichtigsten Inhaltsstoffen in Abhängigkeit vom spezifischen Behältervolumen – Land (20)

LAND (2401 MGB)

	spezifisches Behältervolumen		
	<50 l	50 - 70 l	> 70 l
Anzahl d. Blöcke	9	16	5
mittleres Beh. Vol. (l/E·d)	6,2	8,14	12,16
Hausmüll (kg/E·a)	307	345	529



Pappe, Glas etc. ansteigt, und dem unterschiedlichen Abfallverhalten der verschiedenen sozioökonomischen Schichten lassen sich Stadtgebiete oder Gemeinden innerhalb von Landkreisen benennen, die sich besonders für die Einrichtung einer Recyclinganlage mit der dazugehörigen Verwertung der Produkte eignen. In der folgenden Abbildung 3.4 wird der Einfluß auf die Produktausbeute einer Recyclinganlage deutlich, die Abfall aus unterschiedlichen Stadtteilen mit abweichender Siedlungsstruktur und sozioökonomischen Bedingungen verarbeitet. Werden die Randbezirke (20/22. Bezirk) mit einem hohen Anteil an Gärten, Industriegebieten und sozialem Wohnungsbau mit ihrer Produktausbeute, dem wertbestimmenden BRAM, dem 1. Bezirk der Stadt Wien mit einem hohen Anteil von kleinen gewerbetreibenden Gaststätten und gehobenem Bürgertum gegenübergestellt, so wird deutlich, daß das Hauptprodukt BRAM bei Abfall aus den Außenbezirken um ca. 26 Gew-% sinkt und der Kompostanteil sich fast verdoppelt.

Vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit von Recyclinganlagen wird ersichtlich, daß durch geeignete Voruntersuchungen besonders bei mehreren bereits vorhandenen Abfallbehandlungsalternativen wie Verbrennung, Kompostierung, Deponie etc. in einer Stadt oder in einer Region sich die wirtschaftlichste Größe der Anlage und ökologisch sinnvollste Kombination bestimmen läßt.

Gallenkemper (24), Tabasaran (60), Eder (20) und ARGUS (2), um nur einige Autoren zu nennen, haben den Zusammenhang zwischen Abfalldichte und Behältergröße untersucht. Wie wichtig eine genaue Bestimmung der Dichte ist, zeigt die Erfah-

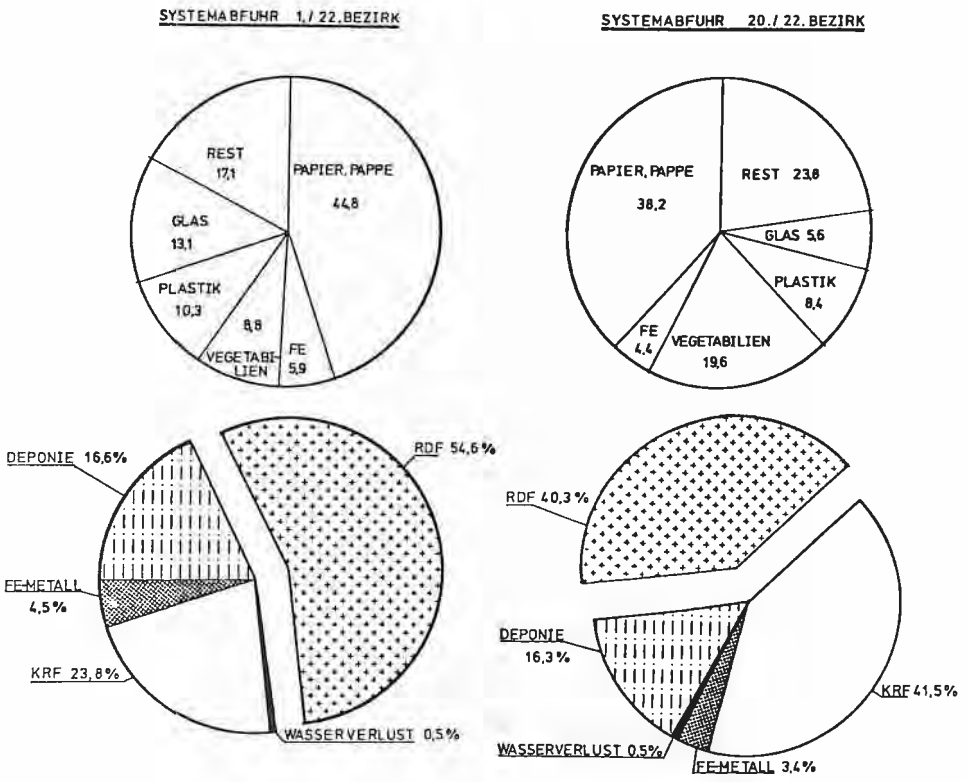
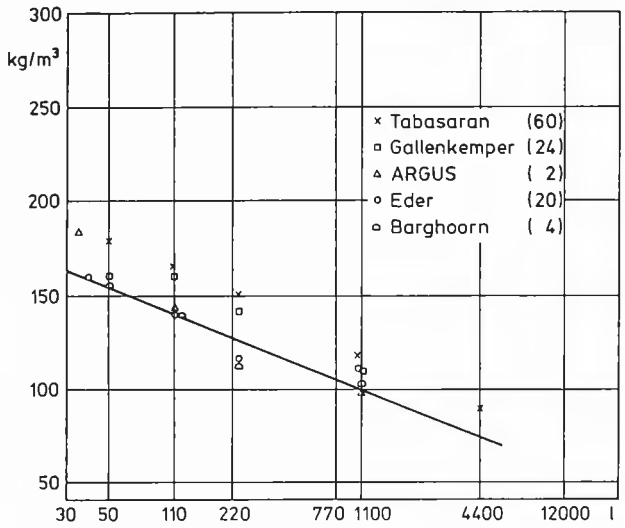


Abb. 3.4
Produktbilanz einer Recyclinganlage zur Herstellung von BRAM (RDF), Kompost und Fe-Metallen mit Hausmülleinsatz aus unterschiedlichen Stadtbezirken Wiens.

Abb. 3.5
Abfalldichte (kg/m³) in Abhängigkeit von der Behältergröße



rung der Stadt Wien mit ihrer Sortieranlage: In der Planungsphase wurde der Projektierungsfirma von der Stadt Wien die Dichte des Wiener Abfalls mit 250 Kg/m³ angegeben. Die Anlage wurde projektiert und gebaut mit einem Durchsatz von 20 t/h oder 80 m³/h und Linie. Da aber das Schüttgewicht im Durchschnitt nur 110 kg/m³ ausmachte, betrug der tatsächliche Nenndurchsatz der Recyclinganlage nur 8,8 t/h. Aufgrund mangelnder Untersuchungen ergab sich eine Minderleistung der Anlage um 56 Gew.-%.

Die Dichte nimmt mit steigender Behältergröße ab, wie die Abbildung 3.5 zeigt. Die Ausgleichsgerade ist auf der Grundlage der neuesten Ergebnisse der aktualisierten bundesweiten Hausmüllanalyse von 1983 gelegt worden (4). Mit der sinkenden Abfalldichte geht eine durchschnittliche Vergrößerung der Korngröße einher.

Für die sinkende Dichte und die größer werdende Korngröße bei zunehmender Behältergröße gibt es einleuchtende Gründe: der Abfall läßt sich in kleinen Behältern besser verdichten und kann große Stükke, wie z.B. Kartons und sperrige Stücke aller Art nur zerrissen oder zerschlagen aufnehmen. Damit wird das bestehende Behältervolumen besser ausgenutzt.

3.1.2 Die Abfallzusammensetzung nach Stoffgruppen

In der Bundesweiten Hausmüllanalyse (BHMA) konnte für den Analysezeitraum 1979/80 ein Hausmülljahresaufkommen von 14.944.000 t für die Bundesrepublik bestimmt werden (5). Als Kennwerte ergeben sich

243,7 kg je Einwohner und Jahr
oder 4,67 kg je Einwohner und Woche.

In der Abbildung 3.6. sind die Unterschiede in der Zusammensetzung des städtischen und ländlichen Abfalls für die Bundesrepublik Deutschland dargestellt. Unterhalb der vorgegebenen Achse sind die Verpackungsmaterialien und das Papier aufgetragen, sie stellen den wertbestimmenden Anteil für eine Recyclinganlage dar. Oberhalb der Achse sind die vorwiegend mineralischen und vegetabilen Teile des Abfalls dargestellt. Aus ihnen entstehen in einer Recyclinganlage die Kompost- und die zu deponierenden Reststoffraktionen. Besonders deutlich wird der Unterschied in der Zusammensetzung sowohl bei dem Papier als auch bei den Vegetabilien.

Ebenfalls zum Haushaltsabfall gehören der Sperrmüll und die Stoffe aus der getrennten Sammlung. Die BHMA (5) hat für den Zeitraum 79/80 einen Sperrmüllanfall von 2,18 Mio. t/a berechnet, eine durchschnittliche Menge von 35,6 kg pro Einwohner und Jahr.

Für die Altglassammlung in getrennt aufgestellten Containern konnten 307.000 t Altglas berechnet werden. Diese Menge entspricht einem durchschnittlichen Glasanfall von ca. 5 kg pro Einwohner und Jahr. Damit konnten ca. 15,2 % des gesamten Altglases im Hausmüll über aufgestellte Container getrennt von der normalen Abfallentsorgung erfaßt werden.

Für die Planung einer Anlage zur Rohstoff- oder

Abb. 3.6
Abfallzusammensetzung in Gewichtsprozent unterteilt nach Stadt und Land (20)

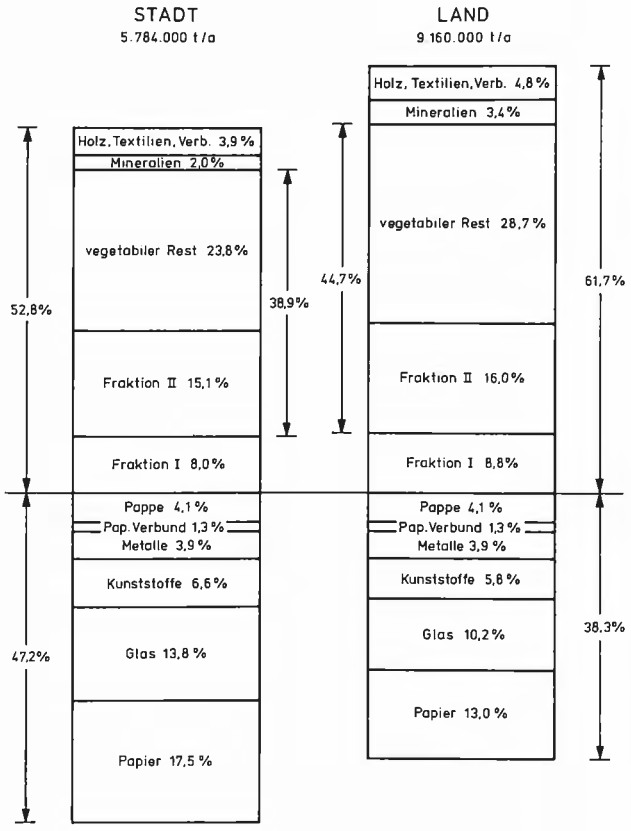


Tabelle 3.3
Die mittlere Abfallzusammensetzung des Inputs der Recyclinganlage in Wien für 1982 (23)

Nr.	Stoffgruppen	Anteil in Gew.–%	Std.–Abw. %
1	2	3	4
1	Papier	24,33	0,24
2	Pappe	12,68	0,23
3	Holz	2,75	0,12
4	Leder	0,71	0,05
5	Gummi	0,32	0,04
6	Knochen	1,10	0,04
7	Textilien	3,63	0,15
8	Kunststoff–Folien	4,90	0,09
9	Kunststoff–Formkörper	5,61	0,13
10	Vegetabilien	18,67	0,21
11	Schrott – Klein	4,10	0,09
12	– Groß	1,84	0,13
13	NE–Metalle	1,06	0,04
14	Glas	6,36	0,11
15	Mineralische Bestandteile	11,94	0,18
	Summe	100,00	

Energierückgewinnung (BRAM) sind die landesweiten Analysen nur ein erster Anhaltswert, die durch sorgfältige Untersuchungen vor Ort ergänzt werden müssen. Außerdem ist die Stoffaufteilung der Bundesweiten Hausmüllanalyse für die technische Anwendung nur bedingt einsetzbar. Eine weitergehende Stoffaufteilung je nach eingesetzter Technik erscheint wünschenswert, da nur so genauere Rückschlüsse auf das physikalische Verhalten der Stoffe im technischen Aufbereitungsprozeß gewonnen werden können. In Tabelle 3.3 ist die Zusammensetzung des Abfallinputs der Recyclinganlage in Wien – gegliedert nach 15 Stoffgruppen – angegeben. Diese Analyse ist der Jahreswert für 1982 aus einer Anzahl von 2158 Proben von Januar – Dezember. Gleichzeitig ist die Standardabweichung (Student t) angegeben.

Tabelle 3.4
Jahresmittelwerte für die stoffliche Zusammensetzung des Abfalls aus Mulden und privaten Anlieferungen des Jahres 1983 der Stadt Wien (10)

	Stoffgruppen	Gew.–%	Vol.–%
	1	2	3
1	Papier, Pappe	6,0	21,7
2	Kunststoffe	1,6	12,7
3	Textilien	1,6	4,5
4	Vegetabilien	19,4	13,1
5	Hausmüll	4,4	7,3
6	Holz	16,9	18,5
7	Schrott	10,1	8,3
8	Glas	0,9	0,5
9	Mineralisches	38,6	12,8
10	Sonstiges	0,5	0,6
	Summe	100,0	100,0

Im Gegensatz zur Systemabfuhr, die relativ gut untersucht ist, werden in Wien Abfälle in Mulden von 12 m^3 – 24 m^3 Fassungsvermögen und private Abfallanlieferung in Müllverbrennungsanlagen verarbeitet und auf Deponien eingebaut, ohne daß ihre Zusammensetzung und ihr Wertstoffpotential bekannt ist. Für das Jahr 1982 betrug dieser Anteil des Abfalls 25,2 Gew.-% des gesamten Wiener Haus- und Geschäftsmülls von 615.237 Tonnen.

In einer 1983 durchgeführten Untersuchung wurden über neun Monate ca. 45.000 t untersucht und auf ihre Zusammensetzung hin überprüft. Die Tabelle 3.4 zeigt den Abfall aus den Mulden und von privaten Anlieferern für das Jahr 1983 der Stadt Wien. Dieser Abfall, der zum größten Teil aus Geschäftsmüll, Entrümpelungen und den auf öffentlichen Plätzen der Stadt Wien anfallenden Abfälle besteht, eignet sich für eine Wertstoffrückgewinnung. Es fällt besonders der hohe Schrott- und Holzanteil auf, der mit diesen Containern angefahren wird. Obwohl Papier, Pappe und Kunststoff anteilsmäßig nur in geringen Mengen anfallen, lassen sich auch hier beträchtliche Mengen wiedergewinnen, da Pappen in hoher Qualität und Polyäthylenfolien in großen Chargen und damit leicht aussortierbar angeliefert werden.

Als störende Bestandteile müssen vor allem der hohe mineralische Anteil und die Vegetabilien angesehen werden. Durch organisatorische Maßnahmen und entsprechende Gebührenanreize und -änderungen lassen sich auch in diesem Bereich praktikable Lösungen finden.

3.1.3 Die Schwankungen der relativen und absoluten Stoffmengen

Für die Auslegung einer Recylinganlage zur Verarbeitung von Haushaltsabfällen ist die im vorigen

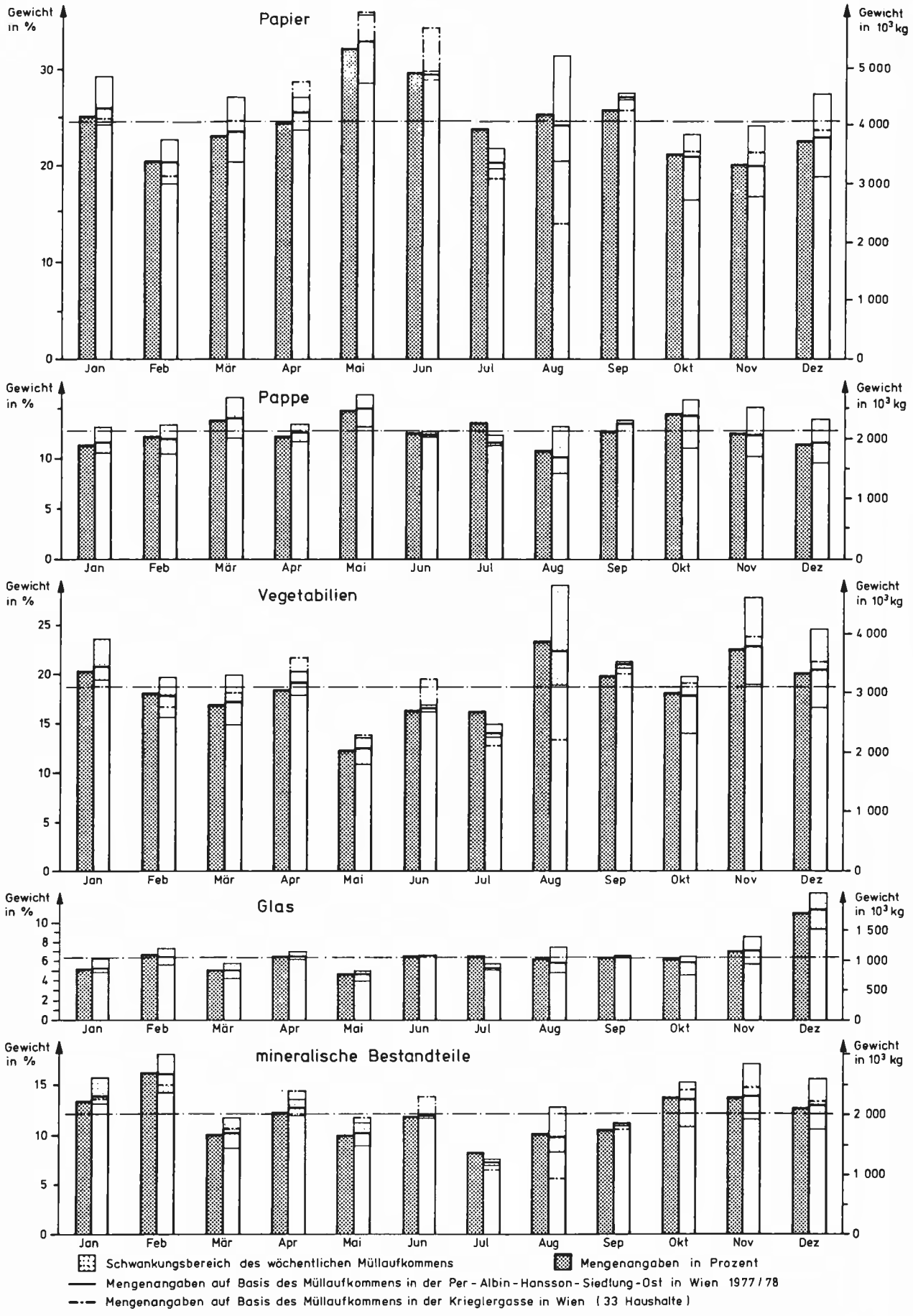
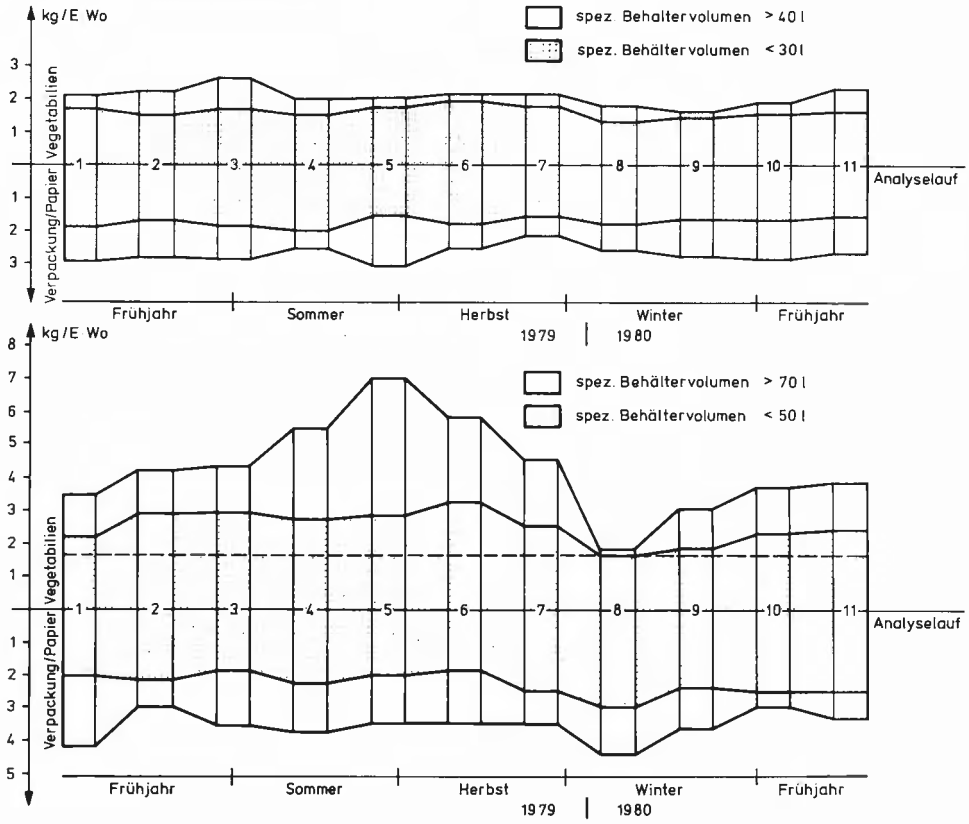

Papier
Pappe
Vegetabilien
Glas
mineralische Bestandteile
Gewicht in %
Gewicht in 10^3 kg
Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Schwankungsbereich des wöchentlichen Müllaufkommens
Mengenangaben in Prozent
Mengenangaben auf Basis des Müllaufkommens in der Per-Albin-Hansson-Siedlung-Ost in Wien 1977/78
Mengenangaben auf Basis des Müllaufkommens in der Krieglergasse in Wien (33 Haushalte)

Abb. 3.8
Aufkommen an Verpackungen incl. Papier und Vegetabilien im Jahresverlauf im städtischen und ländlichen Abfall unter dem Einfluß des spezifischen Behältervolumens (20).



Kapitel aufgezeigte durchschnittliche prozentuale Zusammensetzung des Abfalls von Bedeutung. Für den Betrieb der Anlage und für die Ein- und Ausgabenrechnung sind jedoch die Schwankungen der monatlichen Abfallzusammensetzung und zusätzlich noch die Schwankungen der absoluten Müllmenge pro Jahr zu berücksichtigen.

Dies hat neben der technischen Reserve bei den aufgestellten Sortier- und Förderaggregaten Auswirkungen auf den Lagerbedarf und die notwendigen Transportkapazitäten für die Produkte und Reststoffe, sowie einen Einfluß auf die monatlichen Erlöse aus den Produktverkäufen. Die Wirkungen der relativen und absoluten Schwankungen der Stoffmengen auf die potentiellen Produkte wie Papier, Pappe, Metall, Kompost oder BRAM und auf die zu deponierenden Reststoffe zeigt die Abbildung 3.7. Hier sind die monatlichen prozentualen Schwankungen den Abfallmengen aus zwei Untersuchungen in Wien gegenübergestellt. Der schraffierte Teil gibt dabei die wöchentlichen Schwankungsbereiche des absoluten Abfallaufkommens an. Die durchbrochene Linie in der Abbildung stellt den Jahresmittelwert dar und zeigt anschaulich die monatlichen und wöchentlichen Abweichungen von diesem Wert.

◀ **Abb. 3.7**
Der Einfluß der monatlichen Schwankungen der Abfallkomponenten und der absoluten Abfallmengen auf die verschiedenen Recyclingprodukte aus der Sortieranlage in Wien (9)

In der Bundesweiten Hausmüllanalyse wurden die Abfallmengen im Jahresverlauf unter Berücksichtigung des spezifischen Behältervolumens auf die zwei wesentlichen Stoffgruppenarten (Verpackung incl. Papier und Vegetabilien) und den Einfluß von städtischen und ländlichen Gebieten hin untersucht. In der folgenden Abbildung 3.8 werden die relativen und absoluten Schwankungen des Abfalls für den ländlichen und städtischen Bereich deutlich. Auch der bereits diskutierte Einfluß der Behältergröße auf die Abfallmenge und -zusammensetzung wird hier noch einmal deutlich. Für eine Recyclinganlage, die ländlichen Abfall zu verarbeiten hätte, würde dies bedeuten, daß bei großem spezifischen Behältervolumen im Spätsommer eine enorme Kompostfraktion anfällt. Dies wirft eine grundsätzliche Frage der Abfallwirtschaftspolitik der Landkreise auf, denn es erscheint widersinnig, durch das Aufstellen von großen Behältern, Gartenabfälle mit anderen Abfallkomponenten zu mischen, mit Schadstoffen anzureichern und dann in einer Recyclinganlage oder Kompostieranlage wieder von den anderen Stoffen zu trennen, zu kompostieren und dann mit großem Marketingaufwand an die Kleingärtner zu verkaufen.

In der Tabelle 3.5 ist die Abfallzusammensetzung aus Mulden und von Privatanlieferungen für mehrere Monate des Jahres 1983 der Stadt Wien in Volumen- und Gewichtsprozent dargestellt. Besonders ist dabei auf die Schwankungen der Vegetabilien hinzuweisen, die sich mit dem Beginn des Frühjahrs schlagartig erhöhen.

Tabelle 3.5
Abfallzusammensetzung des Geschäftsmülls aus Mulden und von Privatanlieferungen über sechs ausgewählte Monate des Jahres 1983 der Stadt Wien aufgeteilt nach Stoffgruppen in Vol.- und Gew.-% (10)

Material	Februar 1983 1)		April 1983 1)		Juni 1983 1)		Juli 1983 2)		August 1983 3)		September 1983 4)	
	Vol. %	Gew. %	Vol. %	Gew. %	Vol. %	Gew. %	Vol. %	Gew. %	Vol. %	Gew. %	Vol. %	Gew. %
Papier/ Pappe	28,3	8,4	18,8	4,7	18,3	4,9	17,1	4,9	18,5	5,0	26,2	8,3
Kunststoffe	14,3	1,9	12,4	1,4	11,5	1,4	12,9	1,6	12,5	1,5	14,4	2,0
Textilien	4,1	1,6	4,7	1,6	4,6	1,6	4,8	1,8	5,7	2,1	5,2	2,2
Vegetabilien	3,6	6,0	11,5	16,0	21,6	32,1	19,8	31,4	19,6	29,5	15,5	27,1
Hausmüll	6,9	4,6	7,4	4,1	7,5	4,5	9,8	6,2	8,9	5,4	5,1	3,6
Holz	18,3	18,1	18,7	15,5	18,7	16,8	19,6	18,6	16,9	15,3	17,1	18,0
Schrott	8,1	10,6	9,8	10,9	7,6	9,1	7,7	9,8	6,9	8,3	5,3	7,5
Glas	1,1	1,9	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,6	0,1	0,2	0,3	0,5
Mineralisches	13,8	45,7	16,3	45,2	9,8	29,0	7,9	25,0	10,8	32,6	8,0	28,0
Sonstiges	1,4	1,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	2,9	2,8
Schüttgewicht (kg/m³)	300		360		335		315		332		285	
t/Monat	10.761		14.343		13.637		13.329		12.538		14.948	

1) Hochgerechnet aus drei Wochen
2) Hochgerechnet aus einer Woche
3) Hochgerechnet aus zwei Wochen
4) Hochgerechnet aus drei Wochen auf einer Deponie

Die absoluten Monatsmengen in der Tabelle sind mit Daten von 1982 unterlegt.

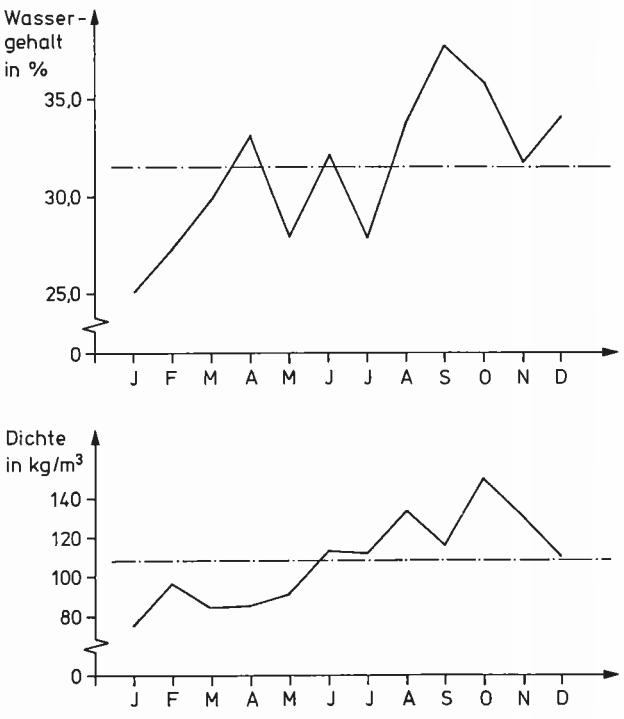
3.1.4 Die Schwankungen der Dichte und des Feuchtigkeitsgehaltes

Durch die relativen und absoluten Schwankungen der Abfallzusammensetzung verändert sich auch die Dichte und die Feuchtigkeit des Abfalls und stellt daher unterschiedliche Anforderungen an die Aufbereitungstechnik einer Recyclinganlage. Über die Dichte in Abhängigkeit von der spezifischen Behältergröße bzw. dem Wertstoffgehalt im Hausmüll und über die Wichtigkeit dieser Größe für die Anlagenplanung wurde bereits berichtet.

Die in der Wiener Recyclinganlage gemessenen Schwankungen der Dichte und des Feuchtigkeitsgehaltes werden in der Abbildung 3.9 dargestellt.

Der Feuchtigkeitsgehalt des Abfalls hängt sowohl mit der Jahreszeit als auch mit der herrschenden Wettersituation zusammen. Im Frühjahr steigt mit dem ersten Grasschnitt und den ersten Arbeiten in den Gärten der Wassergehalt des Abfalls stark an. Die hohen Werte im September und Oktober wurden 1982 gemessen und hingen mit dem hohen Anteil an feuchtem Laub zusammen. Korrespondierende Messungen in dem besonders trockenen und warmen Herbst 1983 ergaben für September, Oktober und November Durchschnittswerte von 27,4 % Wassergehalt. Die in der Abbildung angegebene

Abb. 3.9
Der Jahresmittelwert und der Jahresverlauf der Dichte und des Feuchtigkeitsgehaltes für den Abfallinput des Jahres 1982/83 in der Recyclinganlage in Wien (9)



Messung für Dezember von 34,2 % wurde 1982 durchgeführt und liegt für einen Wintermonat relativ hoch. Auch dieser Wert kann auf die Wettersituation zurückgeführt werden, denn in dem Zeitraum herrschten frühlingshafte Temperaturen mit einem hohen Anteil an Niederschlägen, die sonst in Form von Schnee auftreten.

Für die Planung einer Aufbereitungsanlage ist zu berücksichtigen, daß die üblichen Tonnenangaben nicht die wahre Kapazität eines technischen Aggregates oder einer Förderanlage beschreiben, sondern immer auf eine Dichte bezogen sind. Aus der Tabelle 3.6 wird daher deutlich, daß trotz gleicher Gewichtsangaben das zu verarbeitende Volumen aufgrund abweichender Dichten unterschiedlich ist. Für eine Anlage bedeutet dieser Faktor eine eventuelle Verlängerung der Betriebszeit oder bei entsprechenden Kapazitätsreserven der Aggregate eine höhere Auslastung.

Tabelle 3.6
Verarbeitete Abfallmengen in der Recyclinganlage in Wien in t und m³ für das Jahr 1982

	Zeitraum	Anlieferung in t	Anlieferung in m³
	1	2	3
1	Januar	3.000	25.952
2	Februar	3.000	30.800
3	März	5.000	58.824
4	April	8.000	93.897
5	Mai	11.000	119.695
6	Juni	10.000	88.810
7	Juli	9.000	80.071
8	August	7.000	52.083
9	September	12.000	103.896
10	Oktober	13.000	87.424
11	November	10.000	76.220
12	Dezember	3.000	27.174
13	Summe	94.000	844.846

3.1.5 Die Korngrößenverteilung des Abfalls

Die Korngrößenverteilungen des Gesamtabfalls und der im Abfall vorhandenen einzelnen Stoffgruppen sind sowohl für die Dimensionierung der einzelnen Aufbereitungsschritte als auch für eine optimale Nutzung der im Abfall vorhandenen Wertstoffkomponenten von Bedeutung. Auch läßt sich aufgrund der Abfallzusammensetzung in den verschiedenen Korngrößenklassen eine Verfahrenskonzeption entwickeln, durch die Produkte mit einem minimalem Schadstoffgehalt hergestellt werden können.

In der bei der Recyclinganlage in Wien durchgeführten Korngrößenanalyse wurde der Abfallinput in 15 Stoffgruppen und in vier Korngrößenklassen unterteilt. In der Abbildung 3.10 ist diese Analyse während eines Versuchslaufs im September 1982 mit 100 Stichproben untersucht worden. Wie aus der Abbildung deutlich wird, sind die wertbestimmenden Bestandteile überwiegend in der Korngrößenklasse über 60 mm. Die Ballaststoffe wie Vegetabilien sind zu über 60 % kleiner als 60 mm und die Mineralien sogar über 70 % kleiner als 20 mm.

Sperrmüllbestandteile im Hausmüll haben in der Recyclinganlage in Wien erhebliche Betriebsstörungen im Aufgabe- und Anfangsbereich der Sortieran-

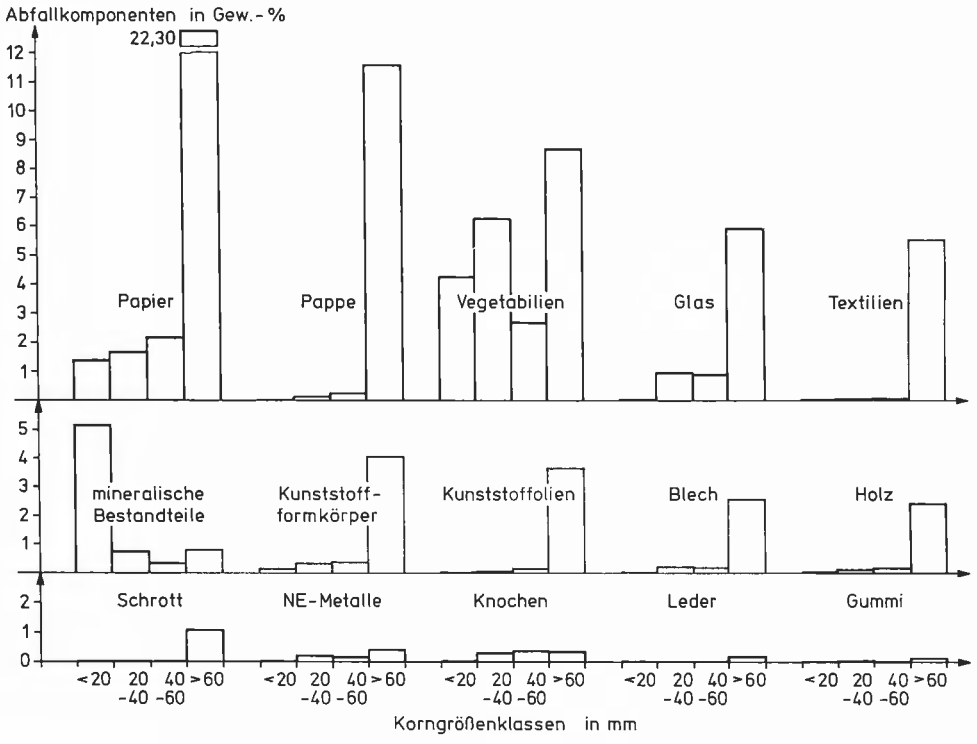


Abb. 3.10
Graphische Darstellung der Korngrößenverteilung des Rohmülls aus Wien nach 15 Stoffgruppen und 4 Korngrößenklassen unterteilt

lage verursacht. Bestimmte Sortierschritte vertragen keine sperrigen Bestandteile ohne eine vorherige Zerkleinerung. Daher wurde der Sperrmüllanteil im Haushaltsabfall bei der Leistungsuntersuchung in Wien händisch aussortiert. Der untersuchte Hausmüll stammte aus 126 x 1,1 m^3 Müllsammelbehältern mit einer mittleren Rohmülldichte von 73 kg/m^3. Als Sperrmüll wurden Stücke deklariert, die größer als 0,40 x 0,40 x 1,00 Meter waren. Der händisch so aussortierte Sperrmüll hatte eine Dichte von 13 kg/m^3 und einen Anteil am Gesamtabfall von 2,60 Gew.-%.

3.1.6 Die Abfallzusammensetzung und ihre Auswirkung auf den Heizwert und die Schadstoffe

Der Haushaltsabfall in den Großstädten Mitteleuropas hat einen durchschnittlichen Heizwert von H_u = 8.700 kJ/kg, der aber durch seine Heterogenität mit Hilfe einfacher Sortieraggregate vom Ballast befreit den doppelten Heizwert erreichen kann.

Der Brennwert H_o entspricht der abgegebenen Wärmemenge, wenn sich die Rauchgase so tief abkühlen können, daß der in ihnen enthaltene Wasserdampf, der aus den wasserstoffhaltigen Verbindungen des Brennstoffes stammt, kondensiert und dabei die Kondensationswärme frei wird. Normalerweise tritt dieser Vorgang beim Kesselbetrieb nicht auf, da der Wasserdampf mit den heißen Rauchgasen über den Schornstein an die Umgebung abgegeben wird.

Der Heizwert H_u ist dagegen die Wärmemenge, die ohne die Kondensationswärme des im Rauchgas befindlichen Wasserdampfes verfügbar ist.

Der Heizwert H_u, der daher bei allen wasserstoffhaltigen Substanzen kleiner ist als der Brennwert H_o, wird mit diesem über die folgende Beziehung verknüpft:

(1)

$$H_u = H_o - 2440 \times m \cdot H_2O \ (kJ/kg)$$
$$m\ H_2O = \text{Wasser (Gew.-\%)}$$

Der Heizwert ist somit eine rechnerische Größe und hängt, weil die Verdampfungswärme temperaturabhängig ist, von der Bezugstemperatur ab. Bei 25 Grad C beträgt die spezifische Verdampfungswärme von Wasser 2440 kJ/kg H_2O.

Um den Heizwert H_u aus dem Brennwert H_o berechnen zu können, muß der Wasserstoffgehalt des Brennstoffes bekannt sein. Da Haushaltsabfall oder BRAM einen relativ hohen Anteil an Kunststoffen und anderen kohlenwasserstoffhaltigen Produkten besitzt, kann bei der Heizwertberechnung der Wasserstoffgehalt und die daraus resultierende Wasserdampfbildung bei der Verbrennung nicht mehr vernachlässigt werden, wie dies noch von Jäger (36) für Müll vorgeschlagen wird. Durch die Oxydation des Wasserstoffes entsteht aus 1 kg Wasserstoff 9 x H kg = 9 kg Wasser. Diese Beziehung besteht bei asche- und wasserfreiem Brennstoff. Da aber bereits vor der Oxydation w kg Wasser als Feuchte im Brennstoff vorhanden war, ergibt sich folgende Abhängigkeit:

(2)

$$m\ H_2O = 9 \times H + w \ (kg/kg\ Brennstoff)$$
$$H = \text{Wasserstoffgehalt (kg)}$$
$$w = \text{Wassergehalt (kg)}$$

Liegt zum Beispiel ein pelletierter Brennstoff (BRAM), so wie er vielfach in Wien hergestellt wurde, mit einem Brennwert von 19.000 kJ/kg Trokkensubstanz (TS) und einer Feuchte von 14 Gew.-% und einem Wasserstoffgehalt von 5,3 Gew.-% vor, so ergibt sich aus der Gleichung (1) und (2):

(3)

$$H_u = H_o - 2440(9\ H + w) \ (kJ/kg\ TS)$$
$$= 19.000 - 2440(9 \times 0{,}053 + 0{,}14)$$
$$H_u = 17.495\ kJ/kg\ TS$$

In der Meßpraxis wird der gefundene Brennwert wie in diesem Beispiel jeweils auf den wasserfreien Bezugszustand (i.wf) oder die Trockensubstanz (TS) bezogen. In dem dargestellten Beispiel ist der berechnete Heizwert ebenfalls für den wasserfreien Bezugszustand dargestellt. Für den Rohzustand lassen sich die Ergebnisse wie folgt umrechnen:

(4)

$$H_u(i.roh) = H_u(i.wf) \times (1 - w) \ (kJ/kg)$$
$$= 17.495 \times (1 - 0{,}14)$$
$$H_u(i.roh) = 15.046\ kJ/kg\ Pellets$$

Der Heizwert für den rohen Bezugszustand ist die Wärme, die für die Verbrennung in einer Feuerung tatsächlich zur Verfügung steht.

Um eine Heizwertanreicherung zu erzielen, ist es notwendig, die Brennstoffdaten der Abfallkomponenten des Hausmülls zu kennen. In der Tabelle 3.7 sind die Brennstoffdaten der Müllkomponenten des Hausmülls aus einem Versuchslauf im März 1983 in Wien dargestellt. Diese Tabelle zeigt deutlich, daß die heizwertarme Fraktion aus den Vegetabilien und den mineralischen Bestandteilen im Abfall besteht und zusammen 44,6 Gew.-% des Ausgangsabfalls ausmachen.

Für eine technische Lösung reicht diese Aussage aber noch nicht aus, denn wie das Kapitel über die Korngrößenverteilung des Abfalls gezeigt hat, sind der Wassergehalt und die Abfallkomponenten und damit auch der Brennwert (H_o) und der Heizwert (H_u) des Abfalls nicht gleichmäßig über die einzelnen Korngrößenklassen verteilt.

In den bereits vorgestellten umfangreichen Untersuchungen vom September 1982 wurden in Wien der Feuchte- und Aschegehalt des Haushaltsabfalls nach 15 Stoffgruppen und mindestens 4 Korngrössenklassen unterteilt.

In der Abbildung 3.11 sind die Feuchten des Hausmülls aufgeteilt nach 15 Stoffgruppen und 4 Korngrößenklassen. Es wird deutlich, daß die Feuchte fast ohne Ausnahme zu größeren Korngrößen hin sinkt.

Entsprechend der stofflichen Zusammensetzung

Tabelle 3.7
Brennstoffdaten der verschiedenen Abfallkomponenten aus einem Versuchslauf im März 1983 in Wien

	Abfall-komponente	Haus-müll-anteil	Wasser-gehalt	Asche-gehalt (i.wf)	Wasser-stoff (i.wf)	Brenn-wert H_o	Heizwert H_u(i.wf)	Heizwert H_u(i.roh)
		Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%	Gew.-%	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Papier	24,3	24,9	16,1	5,9	15.350	13.440	10.100
1								
2	Pappe	13,9	25,2	17,5	6,4	17.600	15.580	11.650
3	Kunststoff	8,4	13,6	9,8	14,5	38.580	35.060	30.300
	- Folien	3,6	20,3	11,4	14,9	40.860	37.090	29.560
	- Formkörp.	4,8	8,7	8,6	14,2	36.880	33.550	30.630
4	Holz	2,3	30,2	6,4	6,8	20.630	18.400	12.840
5	Gummi,Leder	1,2	7,3	23,2	6,2	24.570	23.030	21.350
6	Textilien	5,3	26,6	8,9	6,4	19.900	17.840	13.100
7	Vegetabil.	19,6	64,5	31,8	4,3	14.740	12.220	4.330
8	Mineralien Schrott,NE-Metalle etc	25,0	18,2	-	0,9	-	-	-
9	Hausmüll	100,0	30,1	39,3	5,4	14.070	12.160	8.490

der Korngrößenklassen, sowie deren Asche- und Feuchtegehalt variiert auch deren Brennwert (H_o) und Heizwert (H_u). In der Abbildung 3.12 ist der Brenn- und Heizwert für die 4 Korngrößenklassen des Wiener Hausmülls aus der Untersuchung im September 1982 dargestellt. Um die richtigen Mengenrelationen der einzelnen Klassen auch zu erkennen, sind die Massenprozentanteile graphisch berücksichtigt worden. Der Mittelwert für die Gesamtmüllprobe beträgt für den Brennwert H_o = 11.240 kJ/kg TS und für den Heizwert H_o = 9.420 kJ/kg TS bei einer Feuchte von 26,5 % und einem Wasserstoffgehalt von 5,34 %.

Durch die bereits dargestellten relativen und absoluten Schwankungen der Stoffgruppen und der Abfallmengen ändert sich der Energieinhalt im Abfall im Laufe des Jahres und längerfristig über die sich wandelnden Lebensgewohnheiten. Eine auch heute noch vielfach zitierte Graphik ist in Abbildung 3.13 dargestellt. Sie stellt die saisonalen Schwankungen des Heizwertes H_u (i.roh) in kcal/kg aus dem Jahre 1962/63 im Kreis Pinneberg dar.

Neuere Untersuchungen sind im Rahmen der Bundesweiten Hausmüllanalyse und von mir für Wien durchgeführt worden. Die Abbildung 3.14 zeigt die saisonalen Schwankungen des Brenn- und Heizwertes aus den Jahren 1982/83 für die Stadt Wien. Der Brennwert H_o (kJ/kg TS) ist auf die Trockensubstanz und der Heizwert H_u (kJ/kg i.roh) ist bezogen auf den feuchten Abfall dargestellt. Dadurch

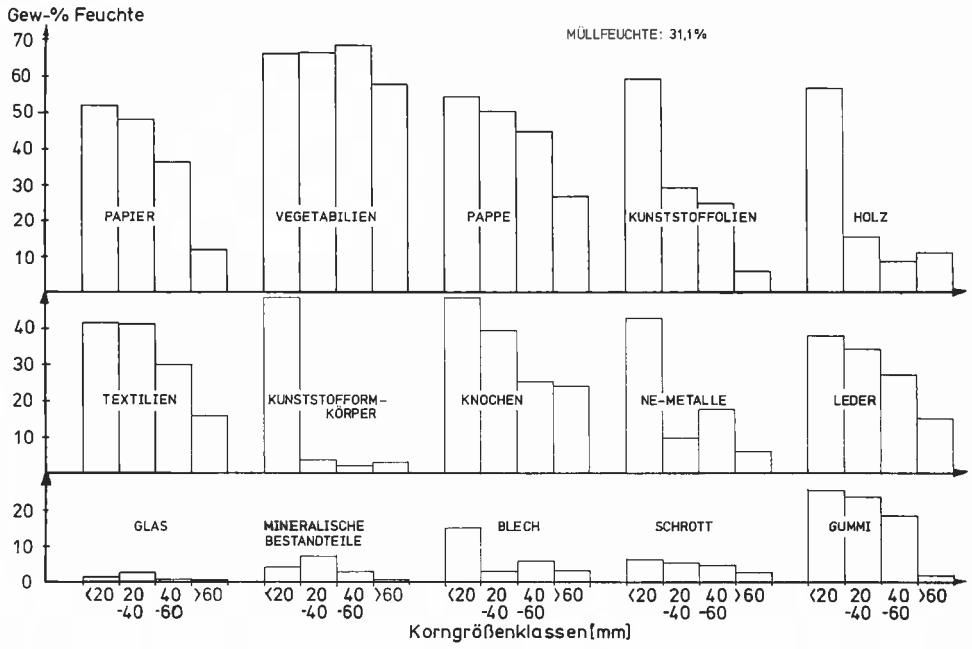


Abb. 3.11
Feuchtegehalt des Wiener Hausmülls nach 15 Stoffgruppen und 4 Korngrößenklassen unterteilt bei einer Durchschnittsfeuchte des Abfalls von 31,1 % (11)

Abb. 3.12
Mittelwerte für den Brennwert (H_o) und den Heizwert (H_u) vom Wiener Hausmüll und die Werte für die 4 Kornklassen unter Berücksichtigung der Massenprozente der jeweiligen Korngrößenklassen im Haushaltsabfall (11)

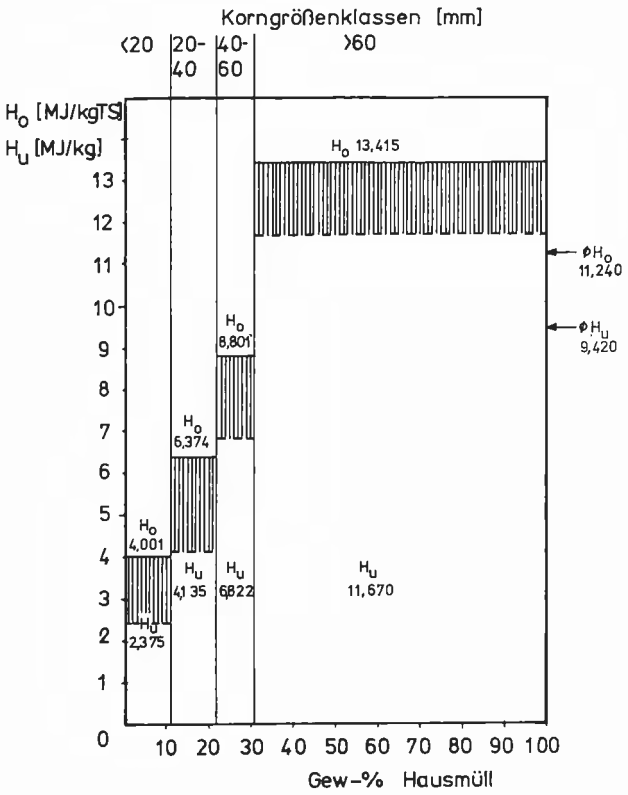


Abb. 3.13
Saisonale Schwankungen des Heizwertes von Hausmüll aus den Jahren 1962/63 für den Landkreis Pinneberg (37)

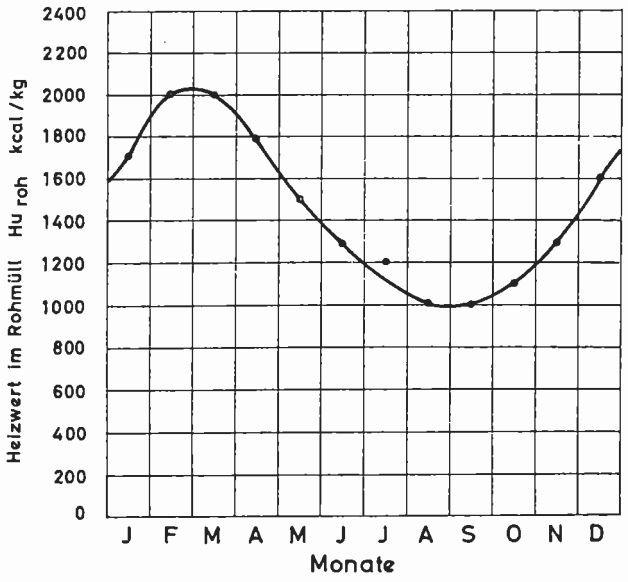
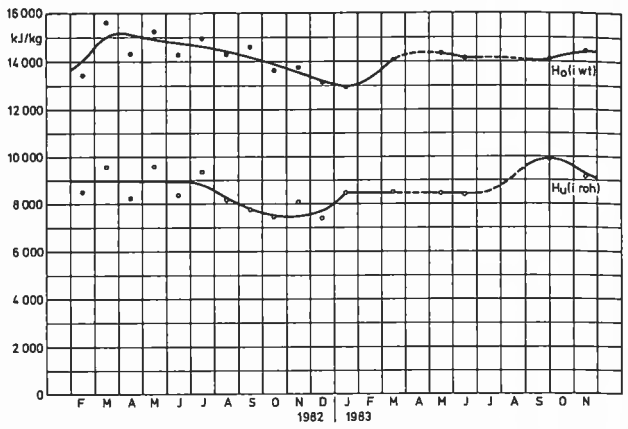


Abb. 3.14
Saisonale Schwankungen des Brenn- und Heizwertes von Hausmüll aus den Jahren 1982/83 für die Stadt Wien



wird deutlich, daß im großstädtischen Bereich den großen jahreszeitlichen Schwankungen der früheren Jahren keine so große Bedeutung mehr beigemessen werden kann. Anhand der Heizwerte für den feuchten Abfall wird dessen Abhängigkeit von dem Wassergehalt überdeutlich.

Auch die Ergebnisse aus der Bundesweiten Hausmüllanalyse zeigen, daß die saisonalen Unterschiede (siehe Tabelle 3.8), hier nur auf die Winter- und Sommerperiode bezogen, nicht mehr die große Bedeutung haben.

Ebenso wie ein Zusammenhang zwischen den Inhaltsstoffen des Abfalls und dessen Energieinhalt besteht, ist auch ein entsprechender Zusammenhang für die Schadstoffe im Hausmüll anzunehmen. Allerdings sind aufgrund der vielfältigen Produktionsprozesse Produkte entstanden, die äußerlich gleich aussehen und den gleichen Gebrauchtswert aufweisen, aber dennoch eine unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung haben.

Erste Untersuchungen zeigen die Zusammenhänge zwischen einzelnen Abfallkomponenten, Korngrößenklassen und dem unterschiedlichen Anteil an Schadstoffen im Haushaltsabfall.

Die verschiedenen Veröffentlichungen über den Schadstoffgehalt im Haushaltsabfall variieren je nach Materialzusammensetzung, der entsprechenden Probenahme, der Probenaufbereitung und dem unterschiedlichen Aufschlußverfahren. In der Tabelle 3.9 sind die Schadstoff-Frachten aus der BHMA für die Sommer- und Winterperiode 1979/80 zusammengestellt. Für die gasförmigen Emittenten wie Chlor, Fluor und Schwefel gilt, daß die hier angegebenen Daten nur organisch Gebundenes darstellen. Die vorhandenen Chlorid-, Fluorid- und Sulfationen sind hier in dieser Analyse nicht berücksichtigt worden. Daher ist es nicht richtig, die

Tabelle 3.8
Der Brenn- und Heizwert von Haushaltsabfällen für Sommer- und Winterperioden nach unterschiedlichen Schichten und für die Bundesrepublik aufgeteilt für die die Jahre 1979/80 (28)

Schichten	Brennwert (i.wf)		Heizwert (i.roh)	
	Sommer MJ/kg	Winter MJ/kg	Sommer MJ/kg	Winter MJ/kg
1	2	3	4	5
1 Dienstl. Stadt	10,9	11,0	6,3	6,2
2 Produkt Stadt	10,7	11,5	6,3	7,4
3 Vorstadt-Land	10,5	11,6	6,0	7,1
4 Gewerb.Land	10,4	10,5	5,9	5,8
5 Offenes Land	10,0	10,7	6,0	6,2
6 Bundesrepublik	10,5	11,0	6,1	6,5

Chlorwerte bei den Vegetabilien nur als Kochsalzbestandteile zu betrachten.

Während die Papier- und Pappefraktion mit ca. 50 % des Fluorgehaltes und mit ca. 16 % des Chlorgehaltes im Abfall beteiligt ist, gelten die Kunststoffe als besondere Schadstofflieferanten.

Aufgrund der zitierten Analyse ist die Kunststoff-Fraktion nur mit 11,1 % am Abfall beteiligt und steuert folgende Schadstoffanteile bezogen auf den Gesamtmüll bei (28):

- über 70 % des organischen Chlorgehaltes,
- ca. 25 % des organischen Schwefels,
- ca. 14 % des organischen Fluors,
- ca. 50 % des erfaßten Cadmiums,
- ca. 14 % des analysierten Quecksilbers und
- ca. 22 % des analysierten Bleis.

Aufgrund der Sortiermethoden der Bundesweiten Hausmüllanalyse sind in der Kunststoff-Fraktion sowohl die Kunststofformkörper und -folien als auch Textilien, Papierverbundstoffe, Holz, Leder, Horn, Knochen und Gummi erfaßt worden. Bei der BRAM-Herstellung können durch geeignete Sortiermethoden die meisten schadstoffhaltigen Bestandteile aus dem Endprodukt herausgehalten werden, so daß nur Folien und Textilien in nennenswerten Anteilen im Brennstoff enthalten sind.

In der Tabelle 3.10 sind die Stoffgruppen und deren Schadstoffgehalt aus Abfall von schwedischen Untersuchungen wiedergegeben. In dieser etwas weiteren Aufteilung wird deutlich, daß die beiden Schwermetalle Quecksilber und Cadmium, die auch als Leitmetalle hinsichtlich einer schadlosen Entsorgung solcher Stoffgruppen betrachtet werden, in nur wenigen Stoffgruppen besonders angereichert sind (siehe Tabelle 3.11).

Die vier Stoffgruppen, dargestellt in Tabelle 3.11, stellen nur einen Gesamtanteil am Hausmüll von 7,5 % (vgl. Tabelle 3.10) dar. Auch bei anderen Untersuchungen übersteigen diese vier Stoffe kaum 10 Gew.-%. Bis auf Chrom – bei Chrom liegt der Hauptanteil mit ca 40 % in der hier nicht dargestellten Glasfraktion – sind alle Schwermetalle überproportional in diesen vier Stoffgruppen vertreten. Um eine Schadstoffentfrachtung zu erreichen, ist bei einer Aufbereitung der Haushaltsabfälle darauf abzuzielen, diese Anteile weder in die BRAM- noch in die Kompostfraktion gelangen zu lassen

Um die Schadstoff-Fracht im Hausmüll möglichst effektiv abzusenken, sind seit einigen Jahren getrennte Sammlungen oder zentrale Sammelstellen zur Erfassung von Problemstoffen eingerichtet worden. Als bisheriges Ergebnis der wissenschaftlichen Begleitung dieser Versuche ist festzustellen, daß die Problemstoffsammlung keinen deutlichen Einfluß auf eine Absenkung der Schwermetallgehalte erkennen läßt. Zu Buche schlägt hier nur die Sammlung von Batterien, die ca. 450 mg Hg und 30 g Zn pro Einwohner und Jahr erfaßt (31).

Von Tabasaran (61) wurde im Landkreis Ludwigsburg die Schwermetallbelastung der jeweiligen Stoffgruppe in den einzelnen Siebfraktionen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der Tabelle 3.12 dargestellt.

Danach enthält der Feinmüll in der Korngrößenklasse < 10 mm, der mit 20,7 Gew.-% an der Gesamtmasse beteiligt ist, verhältnismäßig hohe Mengen an Cadmium, Blei und Zink. Bei den Kunststoffen fällt der hohe Anteil an Cadmium auf, der bis zur Korngrößenklasse von 40 – 60 mm auf 130 mg/kg TS steigt und dann bei höheren Klassen auf einen konstanten Wert von ca. 20 mg/kg TS sinkt. Diese Schwankungen konnten von mir bereits bei früheren Untersuchungen in Berlin und in Wien beobachtet werden. Sie können mit dem Anteil an Kunststofformkörpern in Verbindung gebracht werden, die sich im unteren Kornspektrum befinden, während Folien im oberen Kornspektrum anzusiedeln sind und eine geringere Cadmiumbelastung aufweisen.

Vegetabilien und Papier-/Pappefraktionen, die jeweiligen Hauptträger für die Produkte BRAM und Kompost, weisen relativ geringe Schwermetallbelastungen auf. Ein plötzliches Ansteigen von Schadstoffen hängt zumeist mit einem Anstieg von anhaftenden Metallpartikeln zusammen. Hier läßt sich auch ein Zusammenhang mit der Feuchte der einzelnen Korngrößenklassen herstellen, die ein Anhaften von feinen schadstoffreichen Teilchen an Papier, Vegetabilien, Folien etc. begünstigt.

Tabelle 3.9
Schadstoff-Frachten aus der Bundesweiten Hausmüllanalyse für die einzelnen Abfallfraktionen in der Winter- und Sommerperiode (Zusammengestellt aus 28)

			Papier/Pappe		Kunststoff		Feinmüll		Vegetabilien		Gesamtmüll	
	Parameter	Dimension	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer	Winter	Sommer
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ca	mg/kg TS	85	87	651	401	56	3	671	519	263	212
2	Na	" "	1.649	1.474	1.666	1.284	3.361	1.669	3.811	3.371	1.924	1.540
3	Fe	" "	2.288	1.681	4.404	3.365	13.155	10.931	7.532	6.494	4.627	3.593
4	Zn	" "	411s	353	1.021	973	1.202	1.025	904	613	585	456
5	Mn	" "	96	68	87	94	679	574	287	20	194	158
6	Pb	" "	100	139	1.311	279	509	582	1.493	271	605	192
7	Cd	" "	1,86	1,16	11,02	18,19	2,40	2,98	3,80	4,77	2,87	4,09
8	Hg	" "	0,18	0,12	0,39	0,46	0,30	0,34	1,29	2,60	0,44	0,84
9	F	mg/kg TS	37,3	25,4	10,6	16,8	45,7	13,7	3,8	2,6	15,3	8,9
10	Cl	% TS	0,33	0,26	0,22	0,21	0,17	0,09	0,17	0,10	0,36	0,34
11	S	% T S	0,09	0,09	0,15	0,16	0,16	0,06	0,09	0,08	0,08	0,07

Während in der schwedischen Untersuchung (22), dargestellt in Tabelle 3.10, die Textilien keine bedeutende Schadstoff-Fracht aufweisen, zeigen die Untersuchungen von Tabasaran (61) in eine andere Richtung. Folgende Mengen an Schwermetallen konnten gefunden werden:

Textilien Schwermetallfracht in mg/kg TS

Cd	20	Cr	130	Ni	60
Cu	30	Pb	120	Zn	860

Da Textilien nach unseren Untersuchungen in Wien 1982-83 bei der BRAM-Herstellung je nach Verfahren einen Anteil von bis zu 15 % im Brennstoff ausmachen können, stellen sie einen großen Anteil der Schwermetallfracht.

Wie bereits in der Bundesweiten Hausmüllanalyse (BHMA) festgestellt, sind die Schadstoffanteile im Abfall in den Wintermonaten höher als während der Sommerperiode. Dieser Trend konnte in der Schadstoffuntersuchung von Hagenmaier und Krauß (31) bestätigt werden. In der Untersuchung wird deutlich, daß für Blei, Zink, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Chrom in der Winterperiode Oktober bis Januar höhere Gehalte zu verzeichnen sind als in den Sommermonaten Mai bis August. In der Abbildung 3.15 ist der Bleigehalt im Jahresverlauf für die Korngrößenklassen I = 0-8mm, II = 8-40mm, III › 40mm für das Jahr 1982/83 beispielhaft dargestellt. In der Regel ist der Gehalt der Schwermetalle in absteigender Reihenfolge in Fein-, Mittel- und Grobmüll enthalten. Im Gegensatz zur BHMA zeigt der Cadmiumverlauf einen etwas höheren Anteil im Wintermüll. Der Hauptbeitrag des Cadmiumgehaltes im Hausmüll wird durch die Kunststoff-Fraktion gestellt.

Unabhängig von der Jahreszeit werden ca. 17 mg/g im Kunststoff gefunden. Während in der BHMA (vgl. Tabelle 3.9) für das Quecksilber kein eindeutiger jahreszeitlicher Bezug hergestellt werden konnte, zeigt die Studie über den Jahresverlauf der Schadstoffe (31) deutlich, daß Quecksilber sich vor allem im Wintermüll findet und hier wiederum in absteigender Reihenfolge in Fein-, Mittel- und Grobmüll. Die Mittelwerte für die Wintermonate liegen bei 1,4 mg/kg Feinmüll, 0,4 mg/kg Mittelmüll und 0,1 mg/kg Grobmüll.

Der hohe Anteil an Quecksilber im Feinmüll kann technisch relativ leicht entfernt werden. Der Gehalt an Quecksilber im Verbundmaterial Papier und Kunststoff deckt sich mit den Werten aus der schwedischen Untersuchung (vgl. Tab. 3.10) und beträgt im Jahresmittel 82/83 zwischen 0,12-0,22 mg/kg Trockensubstanz.

3.2 Marktanalyse und Marktgestaltung

Aus verschiedenen Untersuchungen in der Praxis ist bekannt, daß die Vermarktung der Produkte aus Recyclinganlagen das schwächste Glied in der Recycling-Kette darstellt. Wie die Erfahrungen bei

Tabelle 3.10
Schadstoff-Frachten der einzelnen Abfallkomponenten aus schwedischen Untersuchungen mit Angaben über den Anteil am Gesamtmüll (22)

		mg/kg TS					% TS		Gew.-% (i.roh)
	Stoffgruppen	Cd	Cr	Hg	Pb	Zn	S	Cl	Anteil
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Kunststt. PVC	13,0	4,0	0,20	221,0	179	–	0,51	0,5
2	" PE	0,1	23,0	0,04	102,0	60	–	–	9,0
3	Verschiedenes	0,3	1,7	0,20	5,0	58	–	–	0,5
4	Zeitungs-, Schreib- und Packpapier	0,1	3,7	0,15	13,0	145	–	–	14,0
5	Zeitschriften	0,2	3,0	0,09	17,0	157	–	–	7,0
6	Karton,Pappe	0,2	3,7	0,04	13,0	255	–	–	9,0
7	Karton mit Kunststoffbe-schichtung	0,5	32,8	0,06	126,1	254	–	–	4,0
8	Schwere Mischpappen	0,5	6,7	0,03	22,0	140	–	–	9,0
9	Vegetabilien	0,3	4,7	0,08	12,7	174	0,003	0,008	26,0
10	Textilien	0,4	3,6	0,30	6,3	152	–	–	2,0
11	Gummi & Leder	11,0	1175	0,29	391	4645	0,011	0,022	1,0
12	FE-Metall	0,2	165,5	0,5	3778	222	–	–	5,0
13	NE-Metall	83,0	238,0	2,9	630	19300	–	–	1,0
14	Glas	–	342	–	–	–	–	–	5,0
15	Feinmüll	1,2	13	0,07	138	588	–	–	7,0
16	Gesamtmüll	1,7	62,4	0,15	317,4	505	0,0004	0,005	100,0

Tabelle 3.11
Schwermetallgehalte in den vier Hauptstoffgruppen mit einem Gesamtanteil am Hausmüll von weniger als 10 %

		Anteil am Gesamtmüll in %				
	Stoffgruppen	Cadmium	Quecksilber	Blei	Chrom	Zink
	1	2	3	4	5	6
1	NE-Metalle	70,49	26,73	2,80	5,39	53,97
2	Gummi, Leder	8,69	2,49	1,62	24,74	12,08
3	PVC	5,52	0,92	0,49	0,05	0,25
4	FE-Metalle	0,85	23,04	84,05	18,74	3,10
5	Summe	85,55	53,18	88,96	48,92	69,40

Kompostierungsanlagen gezeigt haben, ist die öffentliche Hand selten in der Lage, die Produkte aus den Entsorgungsanlagen professionell zu vermarkten. Neben der Entsorgungsfunktion hat die Recyclinganlage eine Produktionsfunktion mit Produkten, die auf dem Markt abgesetzt werden müssen. Die wirtschaftlichen Konsequenzen werden von den Betreibern der kommunalen Anlagen selten erfaßt. Je nach Standort und Marktsituation unterscheiden sich die Erträge für die gleichen Recyclingprodukte erheblich. Für jeden Standort gilt, daß alle wiedergewonnenen Rohstoffe auf Märkte stoßen, die bereits durch Konkurrenz-Rohstoffe besetzt sind. Da die Rohstoffe aus den Recyclinganlagen kaum die Qualität der Konkurrenzrohstoffe erreichen, kann nur ein wesentlich niedrigerer Preis den Zugang zu diesen Märkten eröffnen.

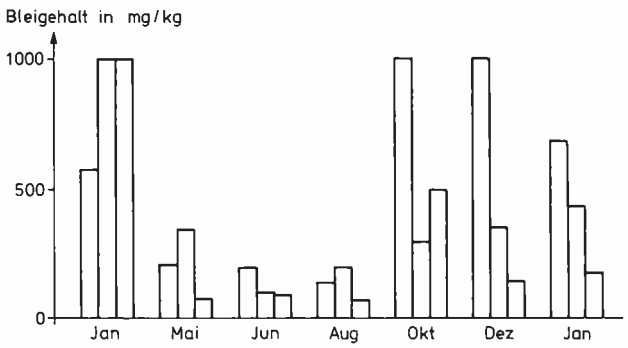
Tabelle 3.12
Schwermetallfracht der Stoffgruppen in Abhängigkeit von den einzelnen Siebfraktionen des Hausmülls nach Ergebnissen von Untersuchungen im Landkreis Ludwigsburg für November 1981 (61)

Schwer- metall mg/kgTS	Siebfraktionen (mm) 0–10	10–20	20–28	28–40	40–60	60–110	110–155	155–200	>200
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Feinanteil									
Cd	1,9								
Cr	26,0								
Ni	33,1								
Cu	71,8								
Pb	161.6								
Zn	446,6								
2.Nativ Organ.									
Cd		1,84	2,68	3,52	1,22	1,53	0,77		
Cr		19,5	18,0	17,8	17,4	15,3	10,8		
Ni		29,0	16,3	19,6	15,0	17,9	9,3		
Cu		50,8	45,8	40,3	36,0	33,1	11,8		
Pb		96,4	82,6	60,1	44,4	19,0	12,4		
Zn		303,3	224,6	246,3	163,0	412,3	90,3		
3.Papier									
Cd						0,46	0,46	0,15	0,35
Cr					11,5	10,0	10,4	10,4	10,3
Ni					4,89	3,52	5,8	10,5	6,9
Cu					38,5	36,4	37,2	37,4	37,0
Pb					53,4	39,2	88,0	61,6	72,3
Zn					93,6	135,2	88,8	82,1	90,0
4.Kunststoffe									
Cd			40,0	60,0	130,0	20,0	20,0	22,0	20,0
Cr			25,0	32,0	30,0	20,0	18,0	24,0	25,0
Ni		25,0	26,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Cu		75,0	80,0	60,0	70,0	90,0	95,0	90,0	70,0
Pb			60,0	80,0	18,0	70,0	100,0	90,0	85,0
Zn			120,0	360,0	920,0	150,0	100,0	200,0	210,0
5.Sieb.% durchgang	20,7	5,0	7,5	12,1	8,8	21,5	9,2	5,3	9,9

3.2.1 Produktverkauf und Leistungsparameter

Nach den heutigen Erfahrungen ist es wünschenswert, die Recyclingprodukte Kompost, Papier, Pappe, Kunststoffe und BRAM hinsichtlich seiner Qualitätsmerkmale eindeutig zu definieren. Wegen der Inhomogenität des Ausgangsstoffes Abfall ist es aber nur schwer möglich, die Bandbreite der Qualitätsmerkmale sehr eng zu halten. Der jeweilige Produkteabnehmer muß entweder auf diese Bandbreiten eingestellt sein oder so unmittelbar im Einflußbereich der entsorgenden Körperschaft oder beim Betreiber der Anlage liegen, daß die Abweichungen innerhalb eines Bandes toleriert und nicht zum Kriterium des Gesamtfunktionierens der Recyclinganlage werden können. Die Problematik des Absatzes von Produkten aus der Abfallsortierung soll beispielhaft vorgestellt werden.

Abb. 3.15
Bleigehalt des Hausmülls im Jahresverlauf 1982/83 aufgeteilt in drei Korngrößenklassen für Ravensburg (31)



Voraussetzung für den Einsatz von Schrott im Stahlwerk ist ein möglichst hoher Reinheitsgrad. Schrott aus Sortier- und Kompostanlagen hat oft nur einen Metallgehalt von 60 – 70 % und Anteile an Schwefel, Kupfer, Chrom, Nickel und Zinn, die durch den Schrott in den Stahl miteingebracht werden. Je nach Stahlqualität dürfen gewisse Obergrenzen nicht überschritten werden. Ohne eine weitere Aufbereitung, z.B. durch Autoschredderanlagen oder eine zusätzliche Zerkleinerung, Siebung und Absaugung, wird in naher Zukunft kaum Schrott in Stahlwerken einsetzbar sein.

Ein maximaler Erlös von ca. 220 DM/t (Preisbasis Herbst 1984) ist für den aufbereiteten Schrott möglich, wenn der Reinheitsgrad ca. 97 % und das Schüttgewicht zwischen 1,30 – 1,40 t/m³ beträgt. Ein Maximalerlös für Schrott direkt aus der Sortieranlage kann mit ca. 100 DM/t angesetzt werden, wenn der Müllschrott vor der nachgeschalteten Aufbereitung ein Shredderausbringen von über 70 % sicherstellt, ein Schüttgewicht von mindestens 1,25 t/m³ hat und einen Reinheitsgrad von mindestens 92 % aufweist (29).

Neben der Schrottfraktion sind die aussortierten Pappen und höherwertigen Papiersorten relativ problemlos am Markt unterzubringen. Auch hier ist auf einen hohen Reinheitsgrad und auf eine geringe Verschmutzung durch Kunststoffe, mineralische Bestandteile etc. zu achten. Um diese Altpapierqualitäten zu erreichen, müssen vorwiegend Handlesestationen in der Recyclinganlage eingerichtet werden, so daß die Reduzierung des Gesamtabfalls nur relativ gering ist.

Da die anderen Produkte wie Schrott und Altpapier, deren Absatz weitgehend sichergestellt werden kann, nur einen geringen Deckungsbeitrag leisten, muß die Kalkulation der Sortier- oder Kompostanlage dahingehend aufgebaut werden, daß das Hauptprodukt BRAM oder die daraus gewonnene Energie zum entscheidenden Erlösbringer wird. Da das Recycling von Abfall einen Kuppelproduktprozeß darstellt, muß sowohl für den Herstellungsbetrieb als auch für die Vermarktung ein eindeutiges Hauptprodukt definiert werden, denen die Nebenprodukte qualitativ und quantitativ untergeordnet werden. Alle Nebenprodukte oder noch nicht fertig entwickelte Produkte, wie z.B. die Kompostfraktion, die gemischten Kunststoffe, das Schüttgut etc., können und sollen nur Unterstützungsfunktion haben, die die Kalkulation bei einer weiteren Aufbereitung oder Veredelung nur positiv beeinflussen können.

Neben den Marktuntersuchungen über Absatzmöglichkeiten, Spezifikationen und Preisgestaltung der Produkte sollte ein Konzept für die geeignetsten Sammelrouten oder die getrennte Sammlung , z.B. durch die Grüne oder Graue Tonne, erarbeitet werden, um recyclingfreundliche Abfallbestandteile wie Papier, Pappe, Vegetablien oder ganze Partien wertstoffreichen Geschäftsmülls möglichst unverschmutzt durch Ballaststoffe in der Recyclinganlage einzusetzen.

3.2.2 Preisgestaltung und Kundendienstleistungen

Eine Recyclinganlage hat neben der Entsorgungsfunktion auch eine Produktionsfunktion. Für den zukünftigen Betrieb einer Recyclinganlage bedeutet dies, daß der Betreiber einer Recyclinganlage eine klare Zielvorstellung darüber haben muß, welche Produkte in welchen Mengen und Qualitäten hergestellt werden sollen. Aus dieser Zielvorgabe leiten sich technische, juristische und ökonomische Anforderungen und Konsequenzen ab. Die ökonomische Konsequenz für den Aufbau und Betrieb einer Recyclinganlage ist, daß die Recyclingprodukte Abnehmer finden und so in den bestehenden Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden können. Da diese Marktsituation je nach Standort verschieden ist, muß auch die einzusetzende Recyclingtechnik flexibel auf die jeweilige Marktsituation reagieren können. Damit steht in der modernen Abfallwirtschaft der Absatz mit allen seinen Möglichkeiten des Marketings, der Preisgestaltung und der Kundendienstleistung im Vordergrund.

Zur Zeit können sich aufgrund der Marktsituation Recyclinganlagen mit der Priorität der energetischen Nutzung am besten behaupten. Die Industrie, Städte und Gemeinden werden immer an alternativen Energiequellen interessiert sein, die billiger sind als Erdgas, Erdöl und Kohle.

Die Preisgestaltung von möglichst sortenreinen Recyclingprodukten ist zum Teil sehr schwierig, da sich die Sortierung von Rohstoffen aus dem Haushaltsabfall als sehr viel komplizierter herausgestellt hat als ursprünglich erwartet. Die sortenreine Wiedergewinnung von z.B. Papier, Kunststoffolien, Glas, Schrott etc. wird durch die jeweils anderen Bestandteile erheblich gestört und verunreinigt. Neuere Trenntechniken, Sammelmethoden und die Herstellung von Mischprodukten wie BRAM können marktfähige Produkte mit relativ gleichbleibenden Qualitäten garantieren.

Die Erlöse aus diesen Produkten decken zur Zeit nur zwei Drittel der Betriebskosten, so daß die restlichen Betriebs- und Kapitalkosten von den entsorgten Bürgern erbracht werden müssen. Obwohl private Firmen sehr erfolgreich und oftmals kostengünstiger als staatliche Betriebe bei der Erfassung und Verwertung von Abfällen arbeiten, kann sich daraus ein Problem entwickeln. Eine private Firma will Gewinne erwirtschaften, die durch die Höhe des Entsorgungsentgeltes entscheidend mitbestimmt werden. Da es aber weder ein objektivierbares Entsorgungsentgelt noch einen gerechten Gewinn gibt, kann einem privaten Betreiber ständig der Vorwurf gemacht werden, er würde auf Kosten der Bürger zu viel verdienen. Deshalb werden in einem solchen Fall oftmals Kapitalbeteiligungen von öffentlich rechtlichen Unternehmen an solchen Anlagen angestrebt, um diesen möglichen Vorwurf zu entkräften.

Die Preise für Produkte aus den Recyclinganlagen können weitgehend von ihren auf dem Markt befindlichen Konkurrenzprodukten abgeleitet werden:

BRAM

Der Brennstoff aus Müll hat einen vergleichbaren Heizwert wie Braunkohle und unterscheidet sich nur unwesentlich bei den meisten Schadstoffkomponenten sowie im Asche- und Feuchtegehalt. Der Chlorgehalt von BRAM beträgt zwischen 0,2 – 0,8 %, während Braunkohle einen Chlorgehalt von 0,16 % kaum überschreitet. Hauptsächlich aufgrund dieser Tatsache werden von den Genehmigungsbehörden beim Einsatz von BRAM in Industrie- und

Kraftwerkskesseln die gleichen Abluftvorschriften gefordert, die auch Müllverbrennungsanlagen zu erfüllen haben.

Da Steinkohle- und Braunkohlekessel auch heute noch ohne Rauchgasreinigungssystem zugelassen werden, ist BRAM nur in wenigen Anlagen einsetzbar. Sind die Verbrennungsanlagen mit Rauchgasreinigungssystemen zur Entschwefelung installiert, reichen sie meistens auch für die Anforderung an die Reinheit der Abluft beim Einsatz von BRAM.

Der Wert des alternativen Brennstoffes wird von seinem Energieinhalt und dem Preis des zu substituierenden Brennmaterials bestimmt. Der Preis für BRAM pro Tonne oder pro GJ oder MW läßt sich nach folgender Formel berechnen:

$$P_B = \frac{H_{u,B}}{H_u} \cdot P \cdot \frac{\eta_B}{\eta} \cdot A$$

P_B = Preis für BRAM (DM/t)
P = Preis für den Referenzbrennstoff (DM/t)
$H_{u,B}$ = Heizwert von BRAM (kJ/kg)
H_u = Heizwert des Referenzbrennstoffes (kJ/kg)
η_B = Wirkungsgrad beim Einsatz von BRAM
η = Wirkungsgrad des Referenzbrennstoffes
A = Zusatzfaktor für Erschwerungen beim Verbraucher (z.B. Zusatzinvestitionen jeglicher Art)

In unseren Verkaufsverhandlungen ergab sich ein Preis für BRAM zwischen 70,-- und 85,-- DM/t, was einem Preisnachlaß bezogen auf das Energieäquivalent von Industriebraunkohle um 20 – 30 % entsprach.

Neben einer gleichmäßigen Produktqualität wurden vom Verbraucher vor allem ein möglichst geringer Abrieb und eine garantierte Lagerfähigkeit von mindestens vier Monaten für den Brennstoff aus Müll verlangt. Weiterhin wurden im Rahmen des Vertrages eine laufende analytische Überwachung (Heizwert, Asche-, Feuchte-, Chlorgehalt etc.) des Brennstoffes als Kundendienstleistung gefordert.

Schrott

Fe-Schrott aus Sortieranlagen gehört zur untersten Schrottqualität. Sobald gewisse Mindestkriterien erfüllt werden, sind Preise um mindestens 40 DM/t und bei sehr guten Schrottqualitäten bis zu 220 DM/t erzielbar.

Handleseprodukte

Als Handleseprodukte können verschiedene Altpapierqualitäten, verschiedenfarbige und gemischte Glassorten, weiße und farbige Polyäthylenfolien gewonnen und auf einem bereits bestehenden Altstoffmarkt verkauft werden. Die Preise für diese Produkte können je nach Qualität, Standort und in Abhängigkeit vom Weltmarktpreis – gilt besonders für Altpapier – sehr starken Schwankungen unterworfen sein.

Holzhackschnitzel

Bei der Aufbereitung von größeren Partien Sperrmüll und Geschäftsmüll sind zwischen 25 und 50 % Holz wiedergewinnbar. Durch eine Zerkleinerung und Aufbereitung (Entfernung von Metall, Kunststoffen etc.) lassen sich die Holzhackschnitzel als Einsatzstoff für die Spanplattenindustrie oder als Brennstoff verkaufen. Die erzielbaren Erlöse liegen je nach Reinheit, Korngröße, Feuchtegehalt und Einsatzzweck zwischen 80,-- und 150,-- DM/t.

Kompost

Der Kompost aus der Sortieranlage hat einen hohen pflanzenphysiologischen Nährwert, einen geringeren Schadstoffanteil als Kompost aus den üblichen Kompostierungsanlagen und gute bodenverbessernde Eigenschaften. Die Vermarktung von Kompost aus Siedlungsabfällen sollte sehr vorsichtig eingeschätzt werden und bei der Planung nicht mit Erlösen, sondern mit Deponiekosten in die Betriebskostenrechnung eingehen. Es gibt Produkte wie Torf und Humusboden auf dem Markt, die durch Kompost aus Recyclinganlagen ersetzt und substituiert werden können. Da Torf keinen pflanzenphysiologischen Nutzen, sondern nur eine auflockernde und darüber hinaus versauernde Wirkung auf den Boden hat, sollte Kompost, ausgestattet mit weitaus besseren Eigenschaften, Torf ersetzen können. Dabei wären je nach Losgröße Preise zwischen 30 und 50 DM/t erzielbar.

Humusboden wird in der Bauwirtschaft, bei Landschaftsgärtnern und bei Rekultivierungen von industriell stark genutzten Landschaften benötigt. Ein großer Teil des Humus fällt bei Maßnahmen im Siedlungs- und Straßenbau selbst an und wird mit 10 bis 20 DM/t gehandelt. Hier lassen sich erhebliche Mengen an Kompost – vor allem vermischt mit Humusboden – einsetzen.

Kompost muß beim Einsatz in der Landwirtschaft Qualitätskriterien erfüllen, die analog zur Klärschlammverordnung oder in Österreich durch den Entwurf zur ÖNORM S 2022 definiert werden. Neben den begleitenden Analysen während der Kompostierung und den Analysen zur Qualitätskontrolle des Produktes ist es auch weiterhin schwierig, dieses Material in der Landwirtschaft einzusetzen. Als Kundendienstleistung wurde daher von uns eine begleitende Analyse der Felder vor

und in einem gewissen Zeitabstand auch nach der Kompostzugabe durchgeführt. Mit dem Kompostverkauf ging also eine Beratung der Bauern über den notwendigen Düngemitteleinsatz, Pflanzenkrankheiten, Mangelstoffe im Boden etc. einher. Da die meisten Felder erfahrungsgemäß mit Stickstoff überdüngt und mit einigen Spurenelementen unterversorgt sind, können durch die Beratung erhebliche Düngemittelmengen und ungezielte Maßnahmen gegen Pflanzen- oder Mangelkrankheiten eingestellt werden. Bei den von uns durchgeführten Untersuchungen ließ sich neben einer gesteigerten Akzeptanz des Kompostes bei den Bauern auch effektiv Geld für Dünge- und Pflanzenschutzmittel bei höheren Erträgen einsparen.

3.3 Organisation

Besonders für kleine und mittlere Kommunen bietet sich immer noch die Option, die Müllsammlung und -verwertung einem privaten Unternehmen zu übertragen. Dabei ist vor allem das nötige Vertrauen in die technische und wirtschaftliche Kompetenz zwischen der Gebietskörperschaft und der privaten Firma wichtig.

Hat die Stadt bzw. der Landkreis die Absicht, das Recyclingproblem selber zu bewältgen, so ist der richtige orgnisatorische, technische und wirtschaftliche Rat entscheidend. In den seltensten Fällen ist dieser in den eigenen Reihen zu finden. Die Bestellung eines außenstehenden Fachmannes hat dabei die größte Chance, das Problem richtig und schnell lösen zu können.

3.3.1 Die Organisation der getrennten Sammlung

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln ausführlich dargelegt, ist die Sammlung des Abfalls aufgrund der unterschiedlichen Sammelbehälter, Fahrzeugtypen und des Sammelrhythmus eine gravierende Einflußgröße für den Erfolg von Recyclinganlagen.

Unabhängig von den üblichen Sammelmethoden werden seit ca. 15 Jahren getrennte Sammlungen zur Erfassung von Wertstoffen erprobt.

Die getrennte Sammlung erfordert jedoch eine umfassende Information über die Verbraucher- und Abfallgewohnheiten, eine ausreichende Motivation zur Mitarbeit des Bürgers, sowie einen höheren organisatorischen und technischen Aufwand bei der Erfassung, Verarbeitung und Reststoffbeseitigung als andere Beseitigungsmethoden. Dabei ist für das Bestehen des Systems der getrennten Sammlung von Bedeutung, daß eine möglichst große Recyclingquote mit einem hohen Wertstoffanteil erzielt wird und somit die nachfolgende Aufbereitungsanlage bei möglichst niedrigen Kosten durchlaufen werden kann.

Aus den Erfahrungen in Berlin wurden Recyclingsquoten von Werth (74) für zwei verschiedene Vorgehensweisen ermittelt. Die eine Methode ist die öffentliche Sammlung durch Depotcontainer als Wechsel- oder Umleerbehälter auf öffentlichen Straßen und Plätzen, und das zweite Verfahren ist die getrennte Wertstofferfassung am Anfallort mit 240 l-MGB an der Anfallstelle.

Dabei wurden auf der Grundlage der Berliner Hausmüllanalyse von 1977/78 Recyclingquoten für die getrennte Erfassung von Wertstoffen am Anfallort von 75 % und bei öffentlichen Sammlungen von 30% berechnet und in Tabelle 3.13 dargestellt. Die Wiedergewinnungsraten, bezogen auf den Gesamtmüll, betragen für die Sammlung am Anfallort ca. 40 % und bei öffentlichen Sammlungen ca. 16 Gew.-%.

In umfangreichen Untersuchungen wurden von Vogel (69, 70, 71) die aufgebrachten und möglichen Altstoffmengen je Einwohner und Jahr in Abhängigkeit von der Sozial- und Baustruktur der Sammelgebiete ermittelt. Dabei konnten bis zu 19 % des Abfalls der Verwertung zugeführt werden. Bezogen auf die Wertstoffe konnten Recyclingquoten für Altpapier von 41,7 %, für Glas von 41,6 % und für Kunststoff bis zu 26,2 % erzielt werden. Weit höhere Recyclingquoten können im Behörden- und Bürobereich erzielt werden (72). Die Altstofferfassungsquote betrug 47,7 % und bezogen auf das Hauptprodukt Altpapier betrug die Recyclingquote 82,0 Gew.-%.

Tabelle 3.13
Recyclingquoten für Wertstoffe bei der Sammlung am Anfallort und bei öffentlichen Sammlungen durch Wechselcontainer in Berlin (34)

Wertstoffe	Anteil im Abfall	Getrennte Erfassung von Wertstoffen am Anfallort		bei öffentl. Sammlung	
	Gew.-%	Gew.-%	Recycling-quote %	Gew.-%	Recycling-quote %
1	2	3	4	5	6
1 Altpapier	21,83	16,37	74,99	6,55	30,01
2 Altglas	19,08	14,31	75,00	5,72	29,98
3 Altplastik	6,00	4,50	75,00	1,80	30,00
4 Altmetall	4,86	3,64	74,90	1,46	30,04
5 Textilien	1,76	1,32	75,00	0,53	30,11
6 Summe	53,53	40,14	74,99	16,06	30,00

3.3.1.1 Das Modell der "Grünen Tonne"

Die "Grüne Tonne" wurde in Baienfurt unter wissenschaftlicher Betreuung der Universität Tübingen und der TU-Berlin und in Witzenhausen im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Gesamthochschule Kassel durchgeführt. Diese Untersuchungen (8,31,55) sind die ersten praktischen Beispiele, die in ein realistisches Stadium getreten sind. Weitere ca. 30 Modellversuche werden zur Zeit durchgeführt.

Das angestrebte Ziel des Systems "Grüne Tonne" ist es, mit nur zwei Behältern Wertstoffe und Ballaststoffe (Naßmüll, kompostierbare Produkte) oder wie in Witzenhausen die Vegetabilien in der grünen Tonne und den Rest in der grauen Tonne zu erfassen. Im Gegensatz zu anderen Sammelmethoden sowie der getrennten Sammlung von Abfall sollen folgende Vorteile erreicht werden:

- Hohe Benutzerfreundlichkeit bei geringer Behälteranzahl im Haushalt,
- Beschränkung auf wenige Wertstoffe wie Papier, Pappe, Kunststoffe, Metall und Textilien, die zu einer deutlichen Volumenreduktion des Abfalls führen,
- geringere Kosten für die Abfallerzeuger und Abfallbeseitiger als die getrennte Sammlung,
- einfache Trennung der Wertstoffe in umkomplizierten und preiswerten Recyclinganlagen,
- unverschmutztere Recyclingprodukte durch die getrennte Erfassung für Wertstoffe und Kompost.

Aus den ausgewerteten Untersuchungen über die "Grüne Tonne" kann heute folgendes gesagt werden:

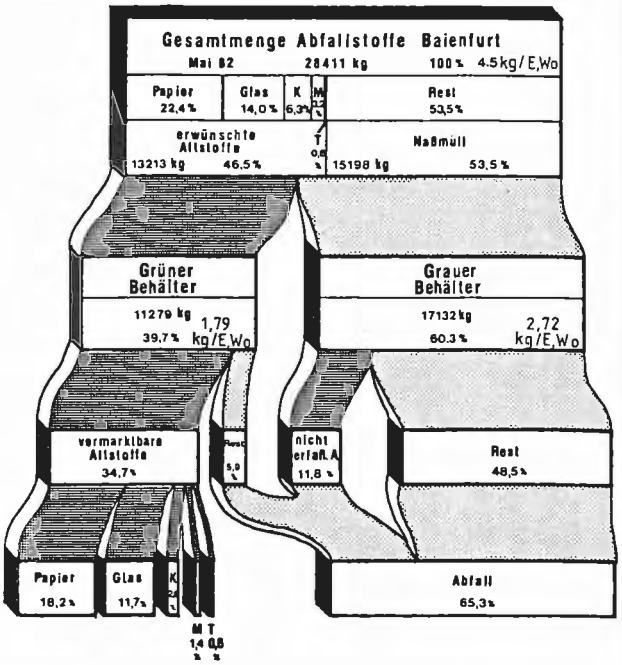
Die getrennte Sammlung von Wertstoffen in dafür geeigneten Landkreisen und Städten ist ein sinnvoller Schritt von der Abfallbeseitigung hin zur Abfallverwertung. Den relativ geringen Mehrkosten von ca. 17,00 DM/E · a unter Berücksichtigung der Deponieersparnis und Altstoffaufbereitung stehen z.Z. nur sehr geringe Erlöse aus Wertstoffen gegenüber (55).

In der Abbildung 3.16 ist ein Mengenfließbild für den Versuch in Baienfurt für eine Woche im Mai 1982 nach dem System der "Grünen Tonne" dargestellt. Daraus wird der Anteil der erfaßten Wert- und Naßmüllbestandteile deutlich.

Die Wiedergewinnungsrate bezogen auf den gesamten Abfall beträgt aus dieser Abbildung 34,7 Gew.-%, und bezogen auf das Jahr 1982/83 konnten in 52 Wochen ca. 33 Gew.-% Wertstoffe aus dem Hausmüll wiedergewonnen werden. Die Recyclingquote, bezogen auf die Wertstoffe Papier, Pappe, Kunststoffe, Glas, Metalle und Textilien betrug für 1982/83 durchschnittlich 71,5 Gew.-%. Somit kann bei Dauerbetrieb von einer Wiedergewinnungsrate, bezogen auf den Gesamtmüll, von ca. 25 Gew.-% ausgegangen werden.

Wie bereits erwähnt, beeinflussen die Behältersysteme entscheidend den Sammelerfolg. Scheffold

Abb. 3.16
Mengenfließbild für die Erfassung des Abfalls nach dem System der "Grünen Tonne" in Baienfurt für eine Wochenmenge im Mai 1982 (55)



(55) stellt in dieser Untersuchung auch andere Gebiete vor, die im Gegensatz zu Baienfurth (50 l-MT) mit 240 l-MGB und mit Müllsäcken ausgestattet sind. Der Wirkungsgrad der "Grünen Tonne" läßt bei diesen beiden Systemen zum Teil erheblich nach. So konnten Abfallverwertungsquoten für 240 l-MG-Behälter von nur 18 % und für die Sachabfuhr von 32 % ermittelt werden.

3.3.1.2 Die Auswirkungen der "Grünen Tonne" auf den Betrieb einer Recyclinganlage

In vielen Planungsgebieten, wo Abfallbeseitigungsmaßnahmen anstehen, sind seit Jahren von den Verantwortlichen keine Entscheidungen gefällt worden, weil aus ihrer Sicht ständig neue und möglicherweise technisch noch bessere, wirtschaftlichere und umweltfreundlichere Verfahren und Beseitigungsmethoden erst in der wissenschaftlichen und dann in der politischen Diskussion auftauchen. Anfang der 70-iger Jahre stand in der Diskussion zuerst die Pyrolyse in Konkurrenz zur Abfallverbrennung, dann die mechanische Sortierung zur klassischen Kompostierungsanlage und Verbrennung, dann die BRAM-Herstellung und zur Zeit das System der "Grünen" bzw. "Grauen Tonne" in Konkurrenz zu den anderen Systemen. Aus dieser für den Nichtfachmann verunsichernden Diskussion resultierte, daß in vielen Planungsgebieten nichts geschah und damit die nachteiligste aller Alternativen gewählt wurde, die Vergeudung von unersetzlichem Deponieraum und den Verlust der nicht wiedergewonnenen Ressourcen wie Energie und Wertstoffe. Daher gilt es, sich zu entscheiden, die Planung voranzutreiben und entsprechende Anlagen

zu bauen, da alle Abfallwirtschaftsmaßnahmen wie Verbrennung, Pyrolyse, Recycling, Kompostierung und "Grüne Tonne" prinzipiell nicht im Gegensatz zueinander und sich damit gegenseitig ausschließend, sondern als Systeme betrachtet werden können, die sich äußerst sinnvoll sowohl technisch und ökologisch als auch wirtschaftlich kombinieren lassen.

Die getrennte Sammlung und die Erfassung von Hausmüll in Form der "Grünen Tonne" hat auf die nachfolgende Recyclinganlage unterschiedliche Auswirkungen. Die getrennte Sammlung durch öffentliche Container für Glas und Papier/Pappe oder die Sammlungen von Papier, Pappe und Textilien durch karitative Verbände haben, besonders bei hohen Altstoffpreisen, eine Wirkung auf das Volumen und können die Auslastung nachfolgender Recyclinganlagen bis hin zur Deponie reduzieren. Die spezifischen Kosten erhöhen sich dadurch zwangsläufig. Sollten sich aber Ersatzinvestitionen durch diese Maßnahmen verhindern lassen, was vor allem für den Deponiebereich gilt, so entstehen daraus auch langfristige Kostenvorteile.

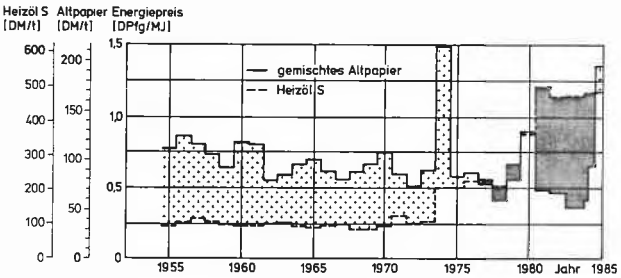
Die "Grüne Tonne" oder das Modell Witzenhausen bieten einer Recyclinganlage große Vorteile, da hier sowohl die Wertstoffe als auch die Vegetabilien in besonders für die Weiterverarbeitung geeigneter Form angeliefert werden. Da auch die "Grüne Tonne" nicht ohne eine maschinelle Aufbereitungsanlage durchführbar ist, muß hier die Frage nach den Vorteilen und Nachteilen für die einzelnen Stoffgruppen geklärt und auch die zusätzlichen technischen Maßnahmen bzw. die eventuellen Einsparungen aufgelistet werden.

Papier und Pappe

Ohne die "Grüne Tonne" ist es durch geeignete organisatorische und technische Maßnahmen nach dem Modell Neuß möglich, größere Mengen an Altpapier unterster Qualität (geringer als B 12) und durch Handlesestationen auch wertvollere Pappen vorzugsweise aus dem Gewerbeabfall herauszuklauben. Durch den Einsatz der "Grünen Tonne" wird die angelieferte Papier- und Pappefraktion trockener und weniger durch Haftkorn, Speisereste, Gras, Glas etc. verunreinigt, so daß die Altpapiermischung der Qualität B 12 gleichgesetzt werden kann.

Durch Handsortierstrecken können auch hier Natron- und Wellpappen per Hand herausgelesen werden, wobei eine Sortierleistung von 300-400 kg/Mann und Stunde erreicht werden (51). Aussortierte Papiere und Pappen wirken sich direkt mindernd auf die Ausbeute von BRAM aus. Wenn eine Recyclinganlage marktorientiert arbeitet, ist die Entscheidung darüber, ob BRAM oder Altpapier recycliert werden sollen, mit dem Energiepreis verknüpft. Wie die Abbildung 3.17 zeigt, hat sich der Preis für Energie seit 1973 verfünffacht, während sich für die unterste Altpapiersorte der Energieäquivalentpreis – bis auf die Jahre 73/74 und 84/85 – langfristig gesenkt hat. Damit hat das Altpapier der untersten Sorte in den letzten Jahren einen

Abb. 3.17
Die Entwicklung der Energiepreise für schweres Heizöl und gemischtes Altpapier B 12



Entwicklung der Energiepreise für schweres Heizol u. gemischtes Altpapier Doedens (1983)

schweres Heizöl: Heizwert 40 833 MJ/t Netto-Einkaufspreise vom Großhändler

Altpapier Heizwert 14 550 MJ/t Nettopreise für sortiertes gem. Altpapier B 12

höheren Marktwert als Brennstoff denn als Rohstoff erzielt.

Für den Betrieb einer Recyclinganlage bedeutet der Einsatz der "Grünen Tonne" für die Stoffgruppe Papier und Pappe, daß durch eine vorgeschaltete Handlese Pappen mit einer Qualität aussortiert werden können, die normalerweise preislich um 2 – 4 mal über der untersten Altpapiersorte B 12 anzusiedeln sind. Dieser Anteil beträgt nach einer Untersuchung in Wien zwischen 4 und 9 % des Gesamtmülls, während der Rest der Papier- und Pappefraktion zu BRAM verarbeitet wird.

Zusätzliche technische Maßnahmen sind, falls nicht bereits vorhanden, die Einrichtung einer Handlesestation und die Installation einer Ballenpresse.

Kunststoffe

In einer Recyclinganlage zur Herstellung von BRAM tragen vor allem die Folien zu einem höheren Heizwert bei, während die Kunststoff-Formkörper über die Schwerfraktion der verschiedenen Sortiersysteme schließlich auf die Deponie verfrachtet und eingebaut werden. Erste praxisnahe Versuche, die gemischten Kunststoffe durch die Pyrolyse in Form von Rohstoffen oder durch Umschmelzen zu Produkten wiederzunutzen, wurden in Ebenhausen und in Berlin durchgeführt.

Sortenreine Kunststoffe können aus dem Gewerbe- und Hausmüll in Form von Folien über Handlesestationen wiedergewonnen werden. So lassen sich für weiße, saubere Polyäthylenfolien Preise um 350 DM/t erzielen, während für bedruckte und farbige Folien mit einem Abschlag um 20 – 30 % gerechnet werden muß.

Je nach Zusammensetzung und Einsammelsystem könnte der Anteil der Kunststoffe aus der "Grünen Tonne" genutzt werden. Die zusätzlichen technischen Maßnahmen bleiben die gleichen wie bei der Papier- und Papperückgewinnung.

Glas

Glas ist bei den mechanischen Recyclinganlagen eine belastende Komponente, da es beim Trans-

port des Mülls in den Sammelfahrzeugen, beim Umladen, beim Zerkleinern und beim Aufbereitungsvorgang zerbricht und als feiner Glasgrieß in der Kompostfraktion und in Spuren als anhaftendes Korn auch im Brennstoff bzw. in der Pappe- und Folienfraktion zu finden ist. Durch die abrasiven Eigenschaften von Glas wird der Verschleiß an Maschinen und Bändern vor allem durch Glas (sowie die mineralischen Bestandteile) hervorgerufen. Bereits die getrennte Sammlung durch Glascontainer an öffentlichen Straßen und Plätzen entlastet eine Recyclinganlage erheblich und verbessert die Produkte BRAM und Kompost. Durch die "Grüne Tonne" kann dieser Effekt positiv verstärkt werden. Mit geeigneten technischen Maßnahmen lassen sich sowohl eine weiße und eine gemischte Altglasfraktion wiedergewinnen als auch die nachfolgende Anlage und die Restedeponie um 6 bis 10 Gew.-% – je nach Glasanteil im Hausmüll – entlasten.

Durch das neue Produkt Glas müssen zusätzliche Sortiergeräte, Container und Fahrzeuge für den Transport angeschafft werden.

Metalle

Im Hausmüll sind durchschnittlich 3 – 6 % Fe-Metalle und ca. 0,3 – 1,0 % Nichteisenmetalle zu finden. Die Sammlung und Erfassung der Metalle durch die "Grüne Tonne" hat auf die Wiedergewinnungsrate der Fe-Metalle oder auf die BRAM-Herstellung keinen positiven oder negativen Einfluß. Für die Kompostherstellung ist aber der Anteil der NE-Metalle in der "Grünen Tonne" sehr positiv, da ein Produkt mit geringeren Schwermetallanteilen wiedergewonnen werden kann.

Vegetabilien

Werden die Vegetabilien wie in Witzenhausen in der "Grünen Tonne" als Hauptprodukt gesammelt, so kann zwischen 25 und 35 % der Haushaltsabfälle zu einem hochwertigen und Schadstoffarmen Kompost verarbeitet werden.

Aber auch nach dem Modell der "Grünen Tonne" in Baienfurt können die Vegetabilien in der "Grauen Tonne" als "Naßmüll" (vgl. Abb. 3.16) gesammelt und durch eine Sortierung von störenden Begleitstoffen befreit werden.

Für die Aufbereitung und Kompostierung des Naßmülls aus dem System "Grüne Tonne" entsteht für eine Recyclinganlage kein zusätzlicher Kapitalbedarf, wenn bereits vorher kompostiert worden ist.

Aus dieser kurzen Darstellung wird als Resümee deutlich, daß die Einführung der "Grünen Tonne" hinsichtlich der getrennten Erfassung der Wertstoffe nur positiv auf den Betrieb und die Qualität der Produkte aus der Recyclinganlage wirkt. Für die getrennte Erfassung der Vegetabilien und anschließenden Kompostierung in der Anlage gilt, daß nach dem Modell Baienfurt keine Vor- oder Nachteile für den Betrieb oder die Qualität der Produkte erzielt werden können, während nach dem Modell Witzenhausen zumindest für die Kompostqualität deutlich Vorteile gesehen werden können.

Die Einführung der "Grünen Tonne" hat für eine bestehende Recyclinganlage den wirtschaftlichen Vorteil, neben einer besseren Produktqualität auch flexibler auf das Marktgeschehen, z.B. Papiermarkt oder Brennstoffmarkt, reagieren zu können.

3.3.2 Die Betriebsführung einer Recyclinganlage

Der Betrieb einer Recyclinganlage stellt eine Aufgabe mit hohen Anforderungen dar. Bei der Aufbereitung und Sortierung von Abfall handelt es sich um eine relativ neue Technologie. Bei fast allen Anlagen, die in den letzten zwölf Jahren in verschiedenen Teilen der Welt gebaut und betrieben wurden, traten große Schwierigkeiten auf, die nicht von allen Herstellerfirmen gemeistert werden konnten.

Für eine beseitigungspflichtige Körperschaft besteht daher die grundsätzliche Option, die gesamte Abfallverwertung entweder einem privaten Unternehmer oder die Unternehmensführung einer privaten Betriebsführungsgesellschaft mit anerkanntem Know-how zu übergeben.

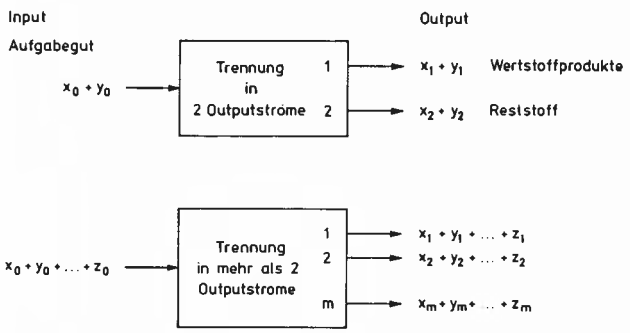
Hausmüll und hausmüllähnliche Geschäftsabfälle sind in der Zusammensetzung, im physikalischen und chemischen Verhalten so heterogen, daß nur eine gutgeschulte Mannschaft diesen Einsatzstoff erfolgreich verarbeiten kann.

Im öffentlichen Bereich, dies trifft besonders oft bei kleineren Abfallbehandlungsanlagen zu, ist die Qualifikation der Betriebsführung erschreckend niedrig. Für eine Recyclinganlage, die Ingenieurwissen, Personalführung, Organisationstalent und Kenntnisse auf dem Gebiet des Marketing zum Absatz der Produkte erfordert, muß das Betriebsmanagement, wie in privaten Mittelbetrieben auch, bestens qualifiziert und mit weitreichenden Kompetenzen ausgestattet sein, wenn ein Scheitern durch eine verfehlte Personalpolitik nicht vorprogrammiert werden soll.

4. Technische Grundlagen

Für den Aufbau und Betrieb einer Recyclinganlage ist die Kenntnis über die Aufbereitungstechniken zur selektiven Trennung der Wertstoffe aus den gemischten Haushalts- und Geschäftsabfällen wichtig. Bei der Trennung von einzelnen Komponenten, z.B. Fe-Metalle, aus einer Mischung mittels Magnetscheider gibt es einen Input- und zwei Outputströme, während bei der Siebung durch mehrere verschiedenartige Lochweiten mehr als zwei Stoffströme bei einem Trennvorgang entstehen können. In der Abbildung 4.1 sind die beiden Trennstufen schematisch dargestellt. Einfachheitshalber soll hier nur die Trennung mit zwei Outputströmen betrachtet werden.

Abb. 4.1
Trennvorgänge mit zwei und Multioutput-Strömen



Der Input besteht aus einem Stoffgemisch (in Tonnen oder Volumen/h) x_o und y_o. Nach dem Trennaggregat sind zwei Stoffströme entstanden: ein mit Wertstoff angereichertes Produkt $x_1 + y_1$ und eine Reststoff-Fraktion $x_2 + y_2$, die je nach der technischen Situation ebenfalls noch Wertstoffanteile enthält und weiter aufgearbeitet werden kann. Würde die Anlage x in den einen und y in den anderen Outputstrom trennen, wäre sie 100 % effektiv. Die Effektivität der Trennung kann durch das Masseausbringen Rm gekennzeichnet werden. Das Masseausbringen Rm gibt an, welcher Masseanteil des Aufgabegutes in einem beliebigen Produkt ausgebracht worden ist. Im allgemeinen bezieht man sich mit dem Begriff Masseausbringen auf das wertstoffangereicherte Produkt. Entsprechend unserem Beispiel ergibt sich somit:

$$(1) \quad R\,(x_1) = \frac{x_1}{x_o} \cdot 100\ (\%)$$

Unter Berücksichtigung der Massenbilanz

$$(2) \quad x_o = x_1 + x_2$$

ergibt sich

$$(3) \quad R\,(x_1) = \frac{(x_o - x_2)}{(x_1 + x_2)} \cdot 100\ (\%)$$

Diese hier dargestellten Formeln werden in der Praxis weitgehend genutzt und wurden im vorhergehenden Kapitel bei der Untersuchung der "Grünen Tonne" als Recyclingquote oder Abfallverwertungsquote zitiert. Es ist allerdings nicht ausreichend, eine Trennung oder ein Verfahren nur durch das Masseausbringen R_m zu charakterisieren, denn würde man das Trennaggregat so einstellen, daß man $x_2 = y_2 = 0$ setzen kann, dann würde der gesamte Input auch als Output auftreten. Daraus ließe sich dann eine 100 % Recycling- oder Abfallverwertungsquote ausrechnen, obwohl nicht die gewünschte Trennfunktion erzielt wird. Daher ist ein weiterer Parameter für die Beschreibung der Qualität des Outputstromes notwendig, der als Reinheitsgrad P_m bezeichnet werden kann:

$$(4) \quad P\,(x_1) = \left[\frac{x_1}{x_1 + y_1}\right] \cdot 100\ (\%)$$

Normalerweise werden sowohl der Reinheitsgrad als auch das Masseausbringen für eine komplette und genaue Beschreibung der Leistung einer Zweistofftrennung benötigt. In einigen Fällen, wie bei der Siebung, gilt dies jedoch nicht. Mit einem Siebprozeß verfolgt man das Ziel, die Körner, die kleiner als eine vorgegebene Korngröße sind, im Feinprodukt und die anderen im Großprodukt auszutragen. Entsprechend sollen bei einem Dichtesortierprozeß die spezifisch leichten Körner in die Leichtfraktion und die anderen in die Schwerfraktion gelangen. Der Unterschied beider Technologien ist darin zu sehen, daß die Siebung die erfolgreiche Trennung nach der Korngröße als Erfolgsmaßstab hat, während beim Dichtesortierprozeß dagegen die Wertstoffanreicherung das Ziel darstellt und das Trennmerkmal Dichte wegen der Verknüpfung mit dem Wertstoffgehalt der einzelnen Körner genutzt wird. Daher ist das Wertstoffausbringen R_c eine wichtige technologische Kenngröße, bei der die Input- und Output-Ströme über Konzentrationsangaben C_m in % statt über Angaben in Masse/Zeit miteinander verknüpft sind. Entsprechend unserem Beispiel gilt die Bedingung:

$$(5) \quad R(x_1) = \frac{x_1 \cdot C_1}{x_o \cdot C_o} \cdot 100\ (\%)$$

Unter Berücksichtigung des Wertstoffgehaltes in der Massenbilanz laut Gleichung (2)

$$(6) \quad x_o C_o = x_1 C_1 + x_2 C_2$$

erhält man aus Gleichung (5):

$$(7) \quad R(x_1) = \frac{C_1(C_o - C_2)}{C_o(C_1 - C_2)} \cdot 100 \ (\%)$$

wobei C_1/C_o das Anreicherungsverhältnis bedeutet.

Mit Hilfe der Kenngröße Wertstoffausbringen läßt sich der technologische Erfolg eines Aggregates eines Verfahrens oder eines gesamten Prozesses beschreiben. Unabhängig von diesen technologischen Kenngrößen ist die Beurteilung des Trennerfolges eines Prozesses, für die bereits verschiedene Vorschläge gemacht worden sind. Rietema (54) hat für eine Trennung mit zwei Output-Strömen für einen Input von x_o und y_o den Trennerfolg folgendermaßen definiert:

$$(8) \quad E(x_1) = 100 \left[\frac{x_1}{x_o} - \frac{y_1}{y_o}\right] \ (\%)$$

Worrell und Vesilind (68) haben den Trennerfolg mit dem Einsatzstoff Abfall bei Untersuchungen mit dem Windsichter wie folgt definiert:

$$(9) \quad E(x_1) = \left[\frac{x_1}{x_o}\right] \cdot \left[\frac{y_2}{y_o}\right] \cdot 100 \ (\%)$$

Beide vorgeschlagenen Werte sind Parameter, die sich aus der Praxis schnell bestimmen lassen und ähnliche Werte ergeben.

4.1 Zerkleinerung

Zerkleinern ist das Überführen eines Aufgabegutes in eine feinere Körnung. Jede Zerkleinerung dient der spezifischen Oberflächenvergrößerung. Für die Auswahl der richtigen Zerkleinerungsmaschine werden folgende Informationen benötigt:

- die physikalischen Eigenschaften der zu zerkleinernden Stoffe wie Ausgangskörnung, Aufbau, Härte, Sprödigkeit und Spaltbarkeit,
- der Verwendungszweck, wie z.B. weiteres Aufbereiten oder chemische Reaktion,
- die geforderten Eigenschaften des Fertiggutes wie Korngrößenverteilung, Kornform, gewünschter Schwerpunkt eines Korngrößenbereiches oder auch selektiv zerkleinertes Fertiggut.

4.1.1 Zerkleinerungsmaschinen für Recyclinganlagen

Die einzelnen Zerkleinerungsmaschinen, die in der Abfallwirtschaft getestet und seit ca. 20 Jahren auf einen hohen Entwicklungsstand gebracht worden sind, sollen hier nur prinzipiell und mit ihren Vor- und Nachteilen im Hinblick auf eine Recyclinganlage vorgestellt werden. Als Information über technische Detailangaben und einer Kurzbeschreibung der verschiedensten Mühlentypen sind die Arbeiten von Thomé'-Kozmiensky (65,66,67) hilfreich.

4.1.1.1 Hammermühlen

Für die Zerkleinerung von Hausmüll haben sich Hammermühlen bewährt, die sich prinzipiell nur durch den Aufbau des Rotors unterscheiden: die horizontale und vertikale Hammermühle mit nachgebenden Hämmern. Nach diesem Grundprinzip sind eine Reihe von Mühlen in Kompost, Recycling- und Deponieanlagen in Betrieb. Firmen wie Svedala Arbra, Bühler, Hazemag und Lindemann haben mit diesem Mühlentyp viele Erfahrungen bei unterschiedlichen Abfallzusammensetzungen gesammelt.

Die Hammermühle von Tollemache stellt die vertikale Version durch einen mit Schlaghämmern bestückten, vertikalen Rotor dar. Dieser Mühlentyp ist Ende der fünfziger Jahre eigens für die Aufbereitung von Haushaltsabfällen konzipiert worden und ist zur Zeit am weitesten verbreitet. Um den anfänglich zu geringen Durchsatz zu erhöhen, wird die Luft aus der Mühle über den Austrag abgesaugt. Dadurch können auch besonders leichte Abfallfraktionen wie Papier, Plastik etc. schnell und mit hohen Durchsätzen zerkleinert werden. Da die Vertikal-Hammermühle keine Korngrößenbegrenzung durch einen Rost besitzt, kann die Korngrößenverteilung durch die Anzahl der Hämmer verändert werden. Aus der Erhöhung der Hammerzahl resultiert ein feineres Korn und ein sinkender Gesamtdurchsatz pro Zeiteinheit. Da kein Rost vorhanden ist, muß, damit die Korngröße des Austrages innerhalb einer akzeptablen Toleranz bleibt, ein genau überprüfbarer Abstand von der untersten Hammerstation zur Mühlenwand vorhanden sein.

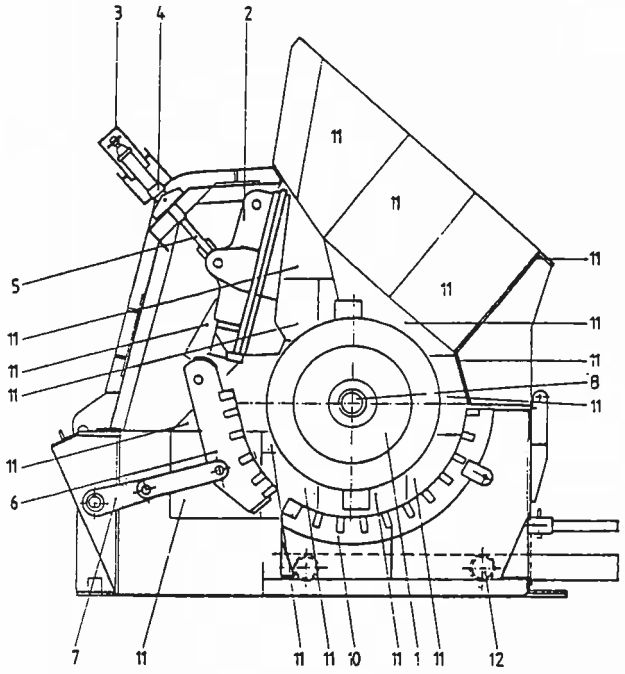
4.1.1.2 Prallmühlen

Die Funktion von Prallmühlen ist bereits erläutert worden. Die in Abbildung 4.2 dargestellte Universal-Prallmühle stellt eine kombinierte Prall-Hammermühle dar. Eine reine Prallmühle ist, da sie nur harte Stoffe und nicht Papier, Textilien etc. zerkleinern kann, nicht zur Zerkleinerung von Haus- und Geschäftsmüll geeignet. Daher hat die Firma Hazemag die Mehrzweckmühle Universal für den Einsatz zur Zerkleinerung von Haushaltsabfall entwickelt. Durch drei unterschiedliche Zerkleinerungsbereiche wie Prallwerk mit Kamm, Mahlbahn und Rost wird eine genau dosierbare Zerkleinerung erzielt. Der Rotor ist mit zwei Zahnleisten, die mit hydraulischen oder mechanischen Schnellspannvorrichtungen befestigt sind, ausgestattet, die die harten Abfallbestandteile auf ihre Bruchgeschwindigkeit bringen und die weichen Abfallinhaltsstoffe durch die Reißkämme zieht.

4.1.1.3 Schneidmühlen und Rotorscheren

Im Gegensatz zu den Prall- und Hammermühlen, die bis zu 1200 U/min und am Hammerende Geschwindigkeiten bis zu 70 m/sec aufweisen, gehört die Schneidmühle und Rotorschere zu den

Abb. 4.2.
Schematische Darstellung der Universal-Prallmühle



1 Schlagwalzen-Körper
2 Hinteres Prallwerk
3 Hydr. Anhebevorr. für Prallwerk
4 Hydr. Zylinder
5 Spindelstange
6 Mahlbahn als Rost ausgebildet
7 Mahlbahnverstellung
8 Welle
9 Schlagleiste
10 Rost verstellbar
11 Schleißbleche
12 Laufrad

langsam laufenden Mühlen. Die Drehzahl der Welle beträgt zwischen 20 und 60 U/min und zerkleinert im Abstand der Schneidwerkzeuge, und zwar unabhängig davon, ob es sich um weiche, elastische oder feste Materialien handelt.

Der Zerkleinerungsgrad wird mit der Wahl des Werkzeugmesserabstandes bzw. durch die Zahnbreite bei der Rotorschere festgelegt. Für die Zerkleinerung von Hausmüll beträgt der angestrebte Abstand bei Rotorscheren 0,1 mm und sollte, um einen guten Aufbereitunserfolg zu garantieren, 0,8 mm nicht überschreiten.

Bei sperrigem und voluminösem Material, was Haus- und Geschäftsabfälle zwangsläufig sind, muß der Abfall durch hydraulische Pressen auf die Schneidwerkzeuge gepreßt werden, um einen hohen Durchsatz zu gewährleisten. Schwere Metallstücke und andere unzerkleinerbare Bestandteile werden nicht zerkleinert. Beim Überschreiten der zulässigen Motorleistung gibt es bei der Rotorschere eine automatische Reversierung, und das Material muß per Hand entfernt werden.

Wie die Praxis in der Sortieranlage in Wien mit der Rotorschere gezeigt hat, ist es günstiger, einen Mann vor der Mühle aufzustellen, der alle sehr harten und sperrigen Bestandteile wie Metalle, Reifen mit Felgen, aber auch Teppiche per Hand herausholt.

4.1.1.4 Cascadenmühlen

Bei der Cascadenmühle handelt es sich um eine langsam rotierende kurze Drehtrommel mit Durchmessern von 4 bis 7,2 m. Das Verhältnis Durchmesser zu Länge beträgt ca. 3 : 1. Die Stirnwände sind leicht konisch geneigt.

Der Ein- und Austrag erfolgt durch die in den Stirnwänden angeflanschten Lagerzapfen. Das Innere der Drehtrommel, einschließlich der Lagerzapfen, ist mit einer Panzerung aus vergütetem Stahlguß ausgekleidet.

Der Mühlenraum ist zu ca. 17 % mit Stahlkugeln gefüllt. Diese Kugeln bilden bei optimalen Drehzahlen zwischen 14 und 20 U/min zusammen mit dem Mahlgut eine geneigte Oberfläche, an der die Mahlkörper abrollen, teilweise fallen sie aber auch kataraktartig auf die Abfallteile. Durch die Relativbewegung zwischen den Kugeln und den Abfallbestandteilen entsteht durch einen intensiven Reib- und Walzvorgang die Zerkleinerung.

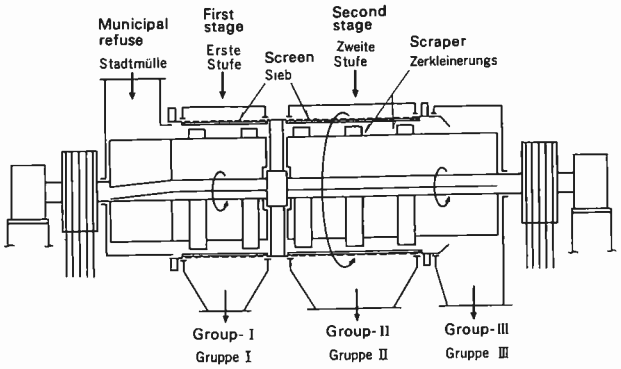
Durch Löcher in der Mühlenstirnwand werden die eingegebenen Stoffe beim Erreichen der gewünschten Korngröße ausgetragen. Auch die Stahlkugeln verlassen nach einem entsprechenden Abrieb die Mühle durch diese Siebwand. Die Kugeln müssen regelmäßig ergänzt werden. Da auch Müllbestandteile wie Fe-Metalle als Mahlhilfe angesehen werden können, kann die Zerkleinerung in der Loesche-Mühle auch als halbautogene Mahlung und bei Klärschlammzugabe mit hohem Feuchtigkeitseintrag als teilautogene halbnasse Mahlung betrachtet werden.

4.1.1.5 SPC-3

SPC-3 bedeutet Selective Pulverising Classifier für drei Outputströme. Dieser selektiv zerkleinernde Klassierer ist Zerkleinerungs- und Trennaggregat zugleich und wurde in den letzten Jahren von EBARA-Corporation in Japan entwickelt und im Projekt Stardust '80 in Yokohama erprobt. Das Entwicklungsziel des SPC-3 bestand darin, den städtischen Abfall durch Ausnutzung der unterschiedlichen Festigkeitsunterschiede des Abfalls so zu zerkleinern und zugleich zu klassieren, daß drei mit unterschiedlichen Wertstoffen und Kompost angereicherte Fraktionen entstehen.

Eine prinzipielle Darstellung des SPC-3 zeigt die Abbildung 4.3. Das Gerät besteht aus einem Drehtrommelsieb mit zwei unterschiedlichen Lochweiten und jeweils einer Kratzplatte, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten drehen. Der Abfall wird nach der Aufgabe axial gefördert und je nach Stoß- und Reißfestigkeit schneller oder langsamer zerkleinert und ausgetragen. Im ersten Teil des

Abb. 4.3
Prinzipielle Darstellung des selektiv zerkleinernden Klassierers für drei Fraktionen – SPC-3



Gerätes werden Küchenabfälle, Glas, Keramik, dünne Papiere und Mineralien zerkleinert und als Gruppe I ausgeschieden, die die Kompostfraktion bildet.

Der verbleibende Abfall wird ausreichend angefeuchtet, um die Bindungskräfte von Papier und Pappe abzuschwächen und mit Hilfe der Kratzplatte in Flockenform durch die Löcher des Siebkorbes – Gruppe II – zu drücken.

Gruppe III wird am offenen Ende der Trommel ausgetragen. Dieses Produkt besteht aus allen plastifizierbaren Bestandteilen wie Textilien, Leder, Gummi, Kunststoffe und allen harten, nicht zerkleinerbaren Bestandteilen wie Metalle und Steine.

Durch die Veränderung der Betriebsbedingungen, wie verringerte Müllaufgabe, Veränderung der Relativgeschwindigkeit zwischen Siebtrommel und Kratzplatte, und Veränderung der Konstruktion, wie Trommellänge, Anzahl der Mitnehmer auf der Kratzplatte und Sieblochdurchmesser, lassen sich die Zerkleinerungs- und Klassierleistung des Aggregates an die jeweilige Abfallzusammensetzung und an die geforderte Qualität der Produkte anpassen.

Der Prototyp SPC-3 bei Stardust '80 hat einen Durchmesser von 2,8 m und eine Länge von 8 m bei einer Kapazität von durchschnittlich 12,5 t/h. Für die Herstellung von BRAM und Kompost eignet sich auch die verkürzte Version SPC-2 mit zwei Outputströmen, die in Japan bereits mehrfach in Kompostanlagen eingesetzt worden ist.

4.1.1.6 Siebraspel

Vor vielen Jahren wurde speziell für die Müllaufbereitung in Kompostierungswerken die Siebraspel entwickelt. Die Wirkungsweise einer Siebraspel ist am einfachsten mit einem Passiersieb aus der Küche zu vergleichen. Über dem Boden, der zum einen Teil aus Segmenten mit Sieblöchern zwischen 22 – 45 mm Durchmesser und zum anderen Teil mit feststehenden Reißzähnen versehen ist, bewegen sich die Raspelarme, die den Müll mit 8 – 10 Umdrehungen pro Minute über die Siebbleche und Reißzähne schieben und schleifen. Hierbei werden die leicht zerkleinerbaren Bestandteile wie Küchen- und Gartenabfälle, Glas, Papier und Pappe bereits nach Aufenthaltszeiten von ca. 20 Minuten über die Sieböffnungen ausgetragen. Die schwer zerkleinerbaren Stoffe – Textilien, Metall, Kunststoffe, Papier, Pappe und Hartstoffe – sammeln sich in der Siebraspel und müssen diskontinuierlich über eine seitliche Klappe durch die Raspelarme ausgetragen werden.

In einer genaueren Untersuchung konnten Jäger und Scheibel (38) die gute selektive Zerkleinerungsarbeit der Siebraspel belegen. Mit einem relativ geringen Energiebedarf für den Zerkleinerungsvorgang – bei Raspelzeiten von 10 – 30 Minuten lag der Energieverbrauch bei ca. 4 – 10 kWh/t Rohmüll – konnten Raspelrest-Fraktionen von 14 – 40 % bezogen auf den Eintrag gewonnen werden.

Der Energiegehalt (H_u) der Raspelreste nahm in Abhängigkeit zur Raspelzeit von 12,5 MJ bei 10 Minuten auf 18,4 MJ bei 30 Minuten zu. Durch den Raspelvorgang werden die heizwertreichen Bestandteile des Mülls besonders angereichert.

Trotz dieser vielen Vorteile des Gerätes wird der weitere Einsatz einer Siebraspel nur sehr gering eingeschätzt.

Die Zerkleinerungswirkung der Siebraspel ist geringer als bei Hammermühlen. Um eine vergleichbare Zerkleinerungsleistung zu erzielen, müßte die Raspelzeit pro Füllung ca. 20 Minuten betragen. Mit ca. 6 – 7 kWh/t ist der Energieverbrauch der Siebraspel nur um ca. 30 – 40 % niedriger als eine vergleichbare Hammermühle.

Ein weiterer Nachteil der Siebraspel ist die diskontinuierliche Betriebsführung. Ein relativ großes und teures Gerät erreicht bei einer Raspelzeit von 20 Minuten nur Durchsätze von 6 t/h.

Aufgrund dieser technologischen Bedingungen wird die Feuchte der Naßbestandteile an die trockenen, heizwertreichen Bestandteile abgegeben und gleichzeitig die kompostierbaren Bestandteile mit herauslösbaren Schadstoffen angereichert.

4.1.2 Technische Gesichtspunkte der Abfallzerkleinerung

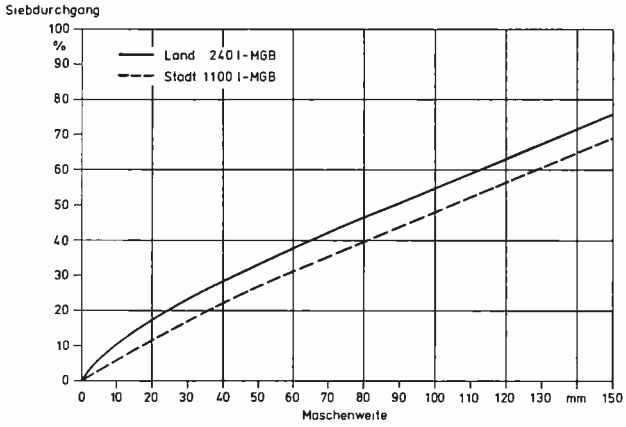
Zur Erzielung einer gewünschten Korngrößenverteilung bei minimalem Verbrauch an Betriebs- und Verschleißstoffen sind die Kenntnisse über die Betriebsparameter und die Möglichkeiten ihrer Steuerung erforderlich. Zur Kennzeichnung von Zerkleinerungsaggregaten haben Terzyk und Savage (62) zwei abhängige Größen bei der Hausmüllzerkleinerung erfaßt: die Endkörnung und den spezifischen Arbeitsbedarf.

4.1.2.1 Parameter der Endkörnung

Aufgabekörnung

Die Aufgabekörnung als Einflußgröße für die Zerkleinerung und anschließende Sortierung von Hausmüll ist eine wenig gemessene Größe im Betrieb einer Anlage. Je nach Einsammelfahrzeug und Behältergröße kann die Korngröße des Abfalls über 2

Abb. 4.4
Korngrößenverteilungsfunktion für Haushaltsabfall vom Land eingesammelt mit 240 l-MGB und aus der Stadt eingesammelt mit 1100 l-MGB



oder 3 Grössenordnungen variieren und an die Zerkleinerungs- und Aufbereitunsanlage unterschiedliche Anforderungen stellen.

Abbildung 4.4 stellt die Korngrößenverteilung für Hausmüll aus einer Untersuchung auf dem Land vom August 1984 und aus der Stadt Wien vom März 1983 dar. Die Aufgabekorngröße ist für eine nachgeschaltete Abfallbehandlungsanlage aus der Stadt größer als auf dem Land, was, wie bereits erwähnt, auf die unterschiedlichen Einsammelbehältergrößen zurückzuführen ist. Da die Abbildung 4.4 nur die Summe aller Abfallbestandteilte darstellt, sind in der Abbildung 4.5 die wichtigsten Stoffgruppen als Korngrößenverteilungsfunktion dargestellt. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit ist auf die Stoffgruppen Kunststofformkörper und Holz verzichtet worden. Sie verlaufen ähnlich wie die Verteilungsfunktion von Papier und Pappe. Wie aus der Abbildung 4.5 deutlich wird, verlaufen die einzelnen Stoffgruppen sehr unterschiedlich und bieten so die Möglichkeit, an eine Trennung der Wert- von den Ballaststoffen selektiv heranzugehen.

Abb. 4.5
Korngrößenverteilungsfunktion für die verschiedenen Inhaltsstoffe des Hausmülls aus der ländlichen Untersuchung (August 1984)

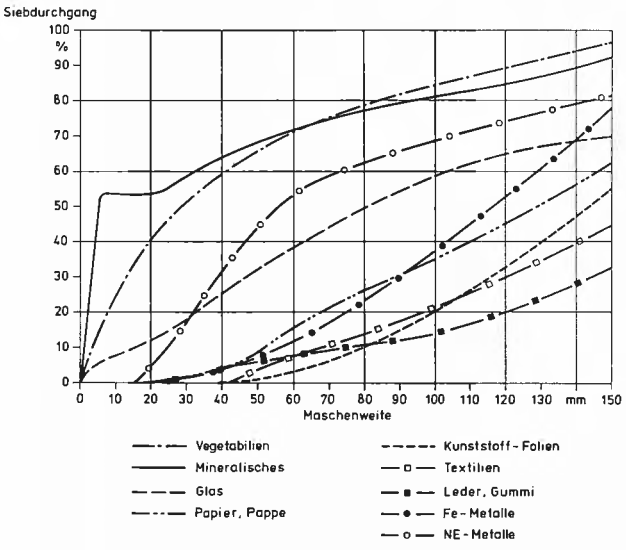
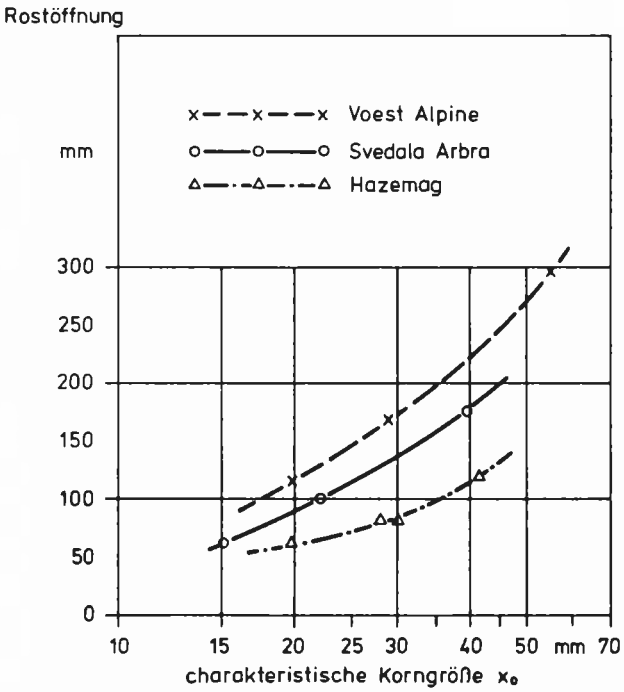


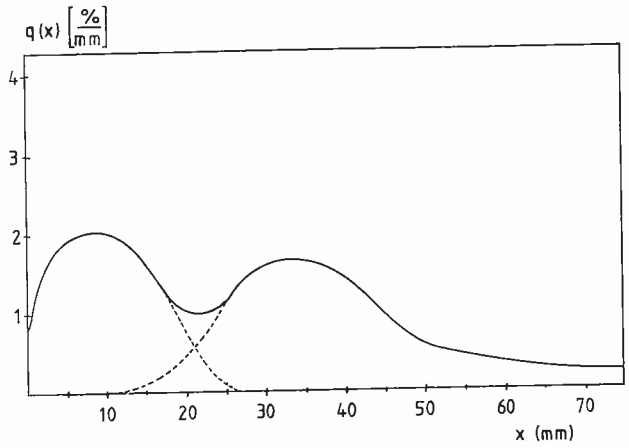
Abb. 4.6
Korngrößenverteilungsfunktion für Mineralien, Glas und für Papier, Pappe, Folien, Textilien in Abhängigkeit von dem Zerkleinerungsaggregat dargestellt



Die Zerkleinerung des heterogenen Körnergemisches wird durch die verschiedenen Aggregate auch unterschiedlich aufbereitet, wodurch wiederum je nach Mühleneinsatz auch unterschiedliche nachgeschaltete Trennaggregate erforderlich werden. In der Abbildung 4.6 sind die Korngrößenverteilungsfunktionen für die beiden Aggregate und für die beiden Franktionen Mineralien, Glas und Papier, Pappe, Folien, Textilien aus Versuchen in Wien dargestellt. Für die Herstellung von BRAM und Kompost ist eine gute Trennung der heizwertreichen von der heizwertarmen Fraktion notwendig. Während bei der Hammermühle (80 mm Rostweite) bereits 90 – 95 % der Mineralien und Glasbestandteile und ca. 80 % der Vegetabilien kleiner als 20 mm sind, können bei der Rotorschere nur 70 – 75 % der Mineralien und Glasbestandteile sowie 40 bis 45 % der Vegetabilien kleiner als 20 mm erzielt werden.

Schnell laufende Mühlen zur Zerkleinerung von Hausmüll sind Hammer- und Prallmühlen. Sie haben die Eigenschaft, den Müll selektiv zu zerklei-

Abb. 4.7
Korngrößenverteilungsdichte für zerkleinerten Hausmüll nach einer Hammermühle (9)

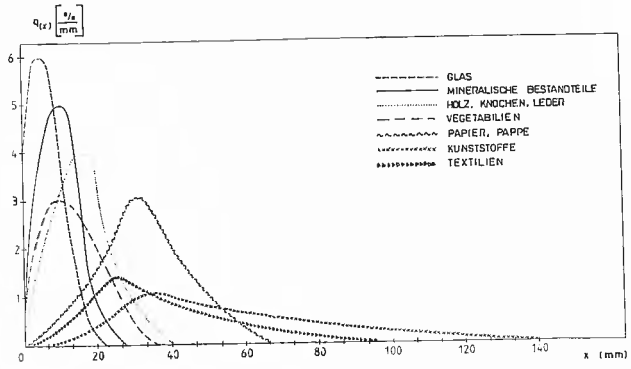


nern, d.h. die harten und spröden Stoffe sowie die nassen Materialien werden wesentlich stärker zerschlagen als die weichen, mittelharten und trockenen Müllbestandteile. Graphisch läßt sich dieses Phänomen in einer Korngrößenverteilungsdichtekurve – entwickelt aus einem Histogramm der verschiedenen Kornklassen geteilt durch die Kornklassenbreite in Millimetern – besser als mit dem Korngrößenverteilungsdiagramm darstellen.

Entsprechend der Abbildung 4.7 wird deutlich, daß die harten und feuchten Materialien ein erstes Maxima und die weichen, elastischen und mittelharten Stoffe ein zweites Maxima bilden.

Bei einer genauen Betrachtung der zerkleinerten Müllbestandteile läßt sich feststellen, welche Inhaltsstoffe des Abfalls entsprechende Korngrößenbereiche bilden. In der Abbildung 4.8 wird die selektive Zerkleinerung anhand der einzelnen Stoffgruppen des Hausmülls in der Korngrößenverteilungsdichte deutlich. So kann aus der Praxis z.B. festgestellt werden, daß ca. 95 % des Glases im zerkleinerten Materialgemisch kleiner als 20 mm ist, während die wertbestimmenden Stoffe Papier, Pappe, Kunststoffe sich genau umgekehrt verhalten; hier sind 80 bis 90 % größer als 20 mm.

Abb. 4.8
Korngrößenverteilungsdichtekurven der einzelnen Abfallinhaltsstoffe nach der Zerkleinerung mit einer Hammermühle (Rostweite 80 mm)



Die Darstellungen der Korngrößenverteilungskurven und -dichten wurden in einem Koordinatensystem mit linearer Teilung beider Koordinaten dargestellt. Im deutschen Fachsprachgebrauch wird anstelle des Begriffes Korngrößenverteilungsfunktion sehr oft noch die Bezeichnung Durchgangskennlinie benutzt. Der Nachteil einer solchen Darstellung ist es, daß die Resultate nicht mit einem oder auch mehreren einfachen Parametern beschrieben werden können.

Die Zielvorstellung, Korngrößenverteilungsfunktionen wenigstens annähernd durch einen analytisch darstellbaren Ausdruck zu erfassen, ist verständlich, weil auf dieser Grundlage die Kennzeichnung und Auswertung von Korngrößenverteilungen wesentlich erleichtert werden können. Neben den aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung bekannt gewordenen Verteilungsfunktionen hat sich die Exponentialfunktion von Rosin, Rammler und Sperling in der internationalen Schreibweise weit verbreitet, wobei y das kumulative Korn in Gew.-% unter der angegebenen Korngröße darstellt (56):

$$(10) \qquad y = 100 - \exp\left[\frac{-x}{x_o}\right]^n \quad (\%)$$

X_o = charakteristische Korngröße für 100 – 100/e = 63,21 %
n = Parameter, der die Steigung beschreibt

Zur Linearisierung wird die RRS-Verteilungsfunktion zweifach logarithmiert:

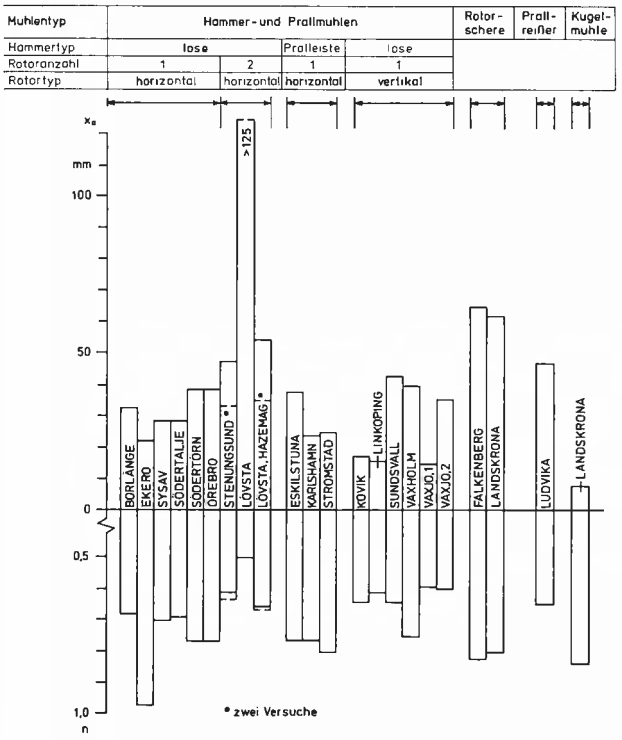
$$(11) \qquad \lg\lg\left[\frac{100}{100-y}\right] = n\,(\lg x - \lg x_o)$$

Somit ist die Funktion in eine Gerade überführt worden, deren Anstieg $n = \tan\alpha$ ist.

Für den allgemeinen Gebrauch sind doppeltlogarithmische Körnungsnetze entwickelt worden. In diese Körnungsnetze sind außerdem Randmaßstäbe aufgenommen worden, welche die schnelle Ermittlung des Parameters n und oft auch noch des Oberflächenkennwertes zulassen.

Durch die Parameter X_o und n ist die Verteilung eindeutig beschrieben. Allerdings sind beide Parameter voneinander nicht unabhängig, und sie sind auch weder physikalisch noch statistisch deutbar. Der Parameter X_o charakterisiert nur mit Einschränkung die Feinheit des Kollektivs. Noch problematischer ist die Deutung des Parameters n. Nur wenn n größer als 1 ist, kann man davon sprechen, daß mit steigendem n der Masseanteil der Korngrößenklasse zunimmt, die dem dann real existierenden Modalwert (häufigste Korngröße) unmittelbar be-

Abb. 4.9
Darstellung der charakteristischen Korngröße X_o und des Gleichmäßigkeitskoeffizienten n für die untersuchten Zerkleinerungsaggregate in schwedischen Kompost- und Recyclinganlagen (46)



nachbart ist. Mit wachsendem n nähert sich die Verteilung im linearen Körnungsnetz immer mehr einer symmetrischen Verteilung. Wird n kleiner oder gleich 1, so kann man sagen, daß die reale häufigste Korngröße im Feinstkornbereich bei einem gegebenen X_o liegt.

Da für den zerkleinerten Abfall die Rosin-Rammler-Sperling Gleichung eine Vereinfachung und einen Vergleich der verschiedenen Mühlentypen zuläßt, wurden in der zur Zeit umfangreichsten Untersuchung, der DRAV Driftstudie (46), 19 Anlagen mit ihren Sortier- und Zerkleinerungsaggregaten untersucht und die charakteristischen Korngröße X_o und die Steigung n bestimmt.

Abbildung 4.9 stellt die charakteristische Korngröße X_o und den Gleichmäßigkeitskoeffizienten n dar. Die Einteilung ist in der Reihenfolge nach Mühlentyp, nach der Hammeraufhängung, der Rotoranzahl und nach der Rotoraufstellung vorgenommen worden. Größere Unterschiede im X_o-Wert, können durch die große, effektive Rostweite wie bei der Anlage in Strömstad oder bei der Anlage in Ekerö mit einer geringen Rostweite erklärt werden.

Aus der Abbildung 4.9 wird deutlich, daß die Doppel-Rotor-Hammermühle nur einen groben Zerkleinerungsgrad mit hohen X_o-Werten hat im Vergleich zu den anderen schnell laufenden Hammer- und Prallmühlen.

Interessant sind dabei auch die Ergebnisse der beiden Mühlen in Växjö, die direkt miteinander verglichen werden können. Der Unterschied bei beiden Mühlen lag in der Abnutzung der Schlaghämmer, deren Abstand zwischen Hammer und Mühlenwand für die erste Mühle 40 mm und 55 mm für die zweite Mühle betrug. Da die Tollemache-Mühle keine Begrenzung durch einen Rost erfährt, verdoppelt sich die charakteristische Korngröße X_o im Laufe des Betriebes, während der Gleichmäßigkeitskoeffizient n sich nicht verändert.

Da die in Abbildung 4.9 dargestellten Werte für den Gesamtmüll nur eine Teilaussage machen können, wurde in der Untersuchung auch der Einfluß der selektiven Zerkleinerung genauer betrachtet. Um den Untersuchungsaufwand in Grenzen zu halten, wurden nur Papier und Kunststoff-Folien als Referenz herangezogen. Es ist wünschenswert, daß sich für die mechanische Sortierung ein möglichst großer Anteil an Papier, Pappe und Kunststoff-Folien in der Korngröße von der Kompostrohfraktion unterscheidet.

Der selektive Zerkleinerungsgrad läßt sich daher als der Anteil an Kunststoff-Folien und Papier in Gew.-% bestimmen, der größer als die charakteristische Korngröße X_o in mm des zerkleinerten Gesamtabfalls ist. Durch Analysen der Zusammensetzung der Kompostfraktion und der BRAM-Fraktion konnten die Abbildungen 4.10 und 4.11 erstellt werden. Die Abbildung 4.10 zeigt den Anteil an Folien, der größer ist als X_o (mm) für den gesamten zerkleinerten Abfall durch den jeweiligen Mühlentyp. Dabei wird deutlich, daß die Ausbeute aufgrund des Mühlentyps sehr unterschiedlich sein kann. Die vertikale Hammermühle erreichte in Sundsvall einen Wert größer als X_o von fast 99 % der Folien im Rohmüll, während die Werte für die Rotorscheren und die Prallmühlen bei ca. 80 – 85 % Folienanteil liegen. Betrachtet man gleichzeitig die entspre-

Abb. 4.10
Anteil an Kunststoff-Folie größer als die charakteristische Korngröße X_o (mm) des gesamten zerkleinerten Abfalls (46)

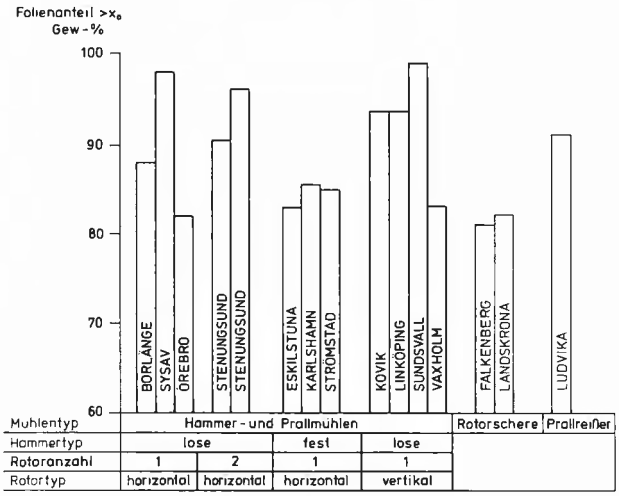
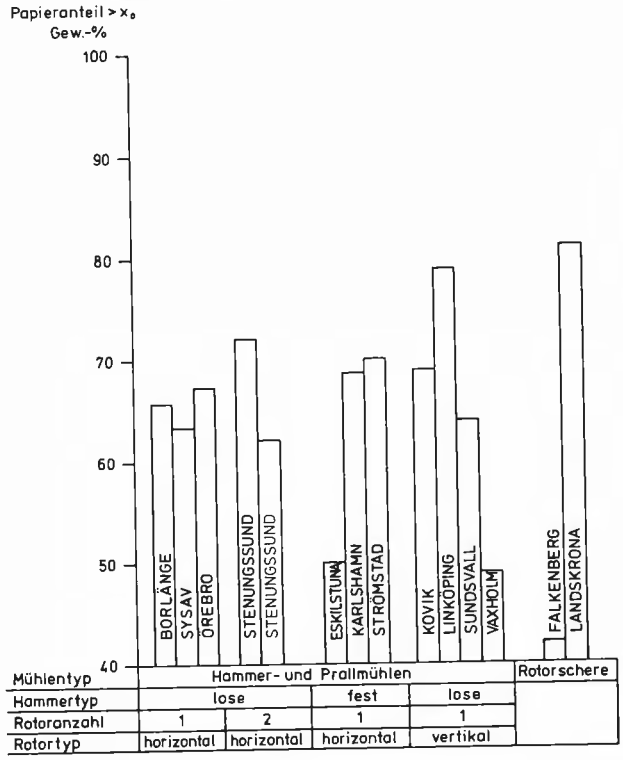


Abb. 4.11
Anteil an Papier größer als die charakteristische Korngröße Xo (mm) des gesamten zerkleinerten Abfalls (46)



chenden Werte für den Gleichmäßigkeitskoeffizienten n, so ergeben sich für die vertikale Hammermühle Werte von n = 0,6 – 0,65, während die Werte für die Rotorscheren und Prallmühlen bei n = 0,75 – 0,82 liegen. Für den nach der Zerkleinerung folgenden Sortierprozeß ist ein hoher n-Wert – das bedeutet ein gleichmäßigeres Korn – günstiger, da höhere Abscheidegrade und reinere Fraktionen erzielt werden können. Technisch lassen sich diese Unterschiede auf die Rostöffnung bzw. auf die Messerbreite bei den Rotorscheren zurückführen.

Für Papier ist dieser Zusammenhang so nicht gegeben. In der Abbildung 4.11 ist der Anteil an Papier, der größer als die charakteristische Korngröße (X_o) in mm für den gesamten, zerkleinerten Abfall ist, dargestellt.

Aus dem Vergleich der Prallmühlen mit fester Schlagleiste und Rost und der vertikalen Hammermühle mit lose aufgehängten Zerkleinerungswerkzeugen ohne Rost ergeben sich keine eindeutigen Unterschiede. Aufgrund der schwedischen Untersuchung (46) ist die selektive Zerkleinerung für Papier eher in Abhängigkeit von der Anzahl der Kollisionen mit den Zerkleinerungswerkzeugen und dem Material im Mühlenraum, der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors und der Aufenthaltszeit des Papiers im Mühlenraum zu sehen.

Feuchte

Als zweiter Parameter der Endkörnung gilt die Aufgabefeuchte, die bei einer Erhöhung ein gröberes Endkorn zur Folge hat. Untersuchungen von Terzek und Savage (62) an einer Gründler Hammermühle haben gezeigt, daß die charakteristische Korngröße X_o mit steigender Inputfeuchte zunimmt:

25 % Inputfeuchte ergab X_o = 21 mm, n = 0,86
57 % Inputfeuchte ergab X_o = 28 mm, n = 1,06

Bei dem Versuch wurden mit der Mühle 1,6 t/h durchgesetzt, und der Rotor hatte eine Drehzahl von 790 U/min. Die hier wiedergegebenen Untersuchungsergebnisse konnten auch mit anderen Feuchtegehalten und erhöhten Drehzahlen untermauert werden. Für eine nachfolgende Sortieranlage bedeutet dieses Ergebnis, daß bei starken Feuchteschwankungen sich sowohl das Zerkleinerungsergebnis ändert als auch die Trennschärfen der nachgeschalteten Aggregate. Im realen Betrieb ist diese Aussage relativierbar, da der Feuchtegehalt des Mülls durch den Anteil an bestimmten Bestandteilen, wie Speise- und Gartenabfälle, gekennzeichnet ist. Bei einer eingehenden Analyse des Abfalls kann dieses Problem durch technische oder organisatorische Maßnahmen kompensiert werden.

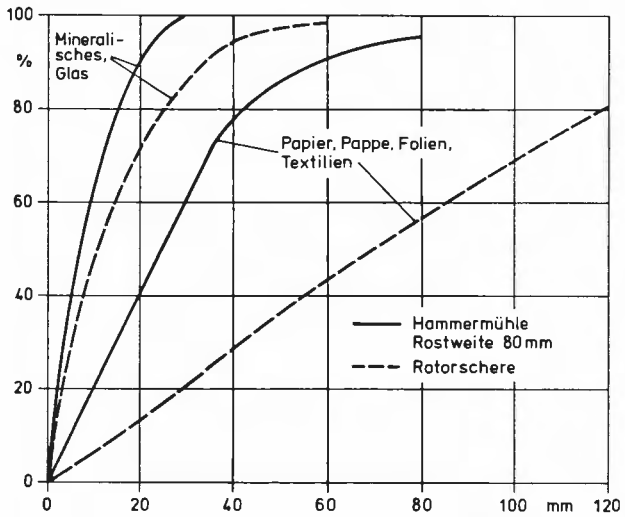
Rostöffnung

Auf den Einfluß der Rostöffnung bzw. den minimalen Spalt von Zerkleinerungsmaschinen ohne Rost wurde bereits im Zusammenhang mit der selektiven Zerkleinerung eingegangen. Bei den Untersuchungen von Terzek und Savage (62) wurde der Einfluß der Rostöffnung bzw. des minimalen Spaltes auf den Zerkleinerungsgrad des Einsatzgutes Hausmüll mit drei verschiedenen Mühlen untersucht. Der prinzipielle Verlauf entspricht den Kurven der Abbildung 4.12. Eine gemeinsame Kurve wie bei Terzek und Savage konnte beiden neueren Untersuchungen nicht erstellt werden. Je nach Mühlentyp und Mühlengröße – die Hazemagmühle hatte nur einen Durchsatz von ca. 6 – 8 t/h, während die Prallmühle von der Voest Alpine je nach Rostweite einen Durchsatz von ca. 25 t/h hatte – und der müllspezifischen Einflußfaktoren lassen sich mehrere Kurven darstellen. Aus der Abbildung 4.12 lassen sich Anhaltswerte über den Zerkleinerungsgrad in Abhängigkeit von der Rostöffnung ableiten. Diese Kurven gelten aber nur für Rohmüll, denn eine Zweitzerkleinerung oder die Zerkleinerung eines bestimmten Stoffstromes aus dem Hausmüll ergibt völlig andere Werte. Bei Untersuchungen in Wien konnten die Werte für X_o (mm) bei der Zerkleinerung von zähen und elastischen Materialien (Papier, Pappe, Folien, Textilien, Gummi etc.) gemessen werden. Mit der gleichen Mühle und den selben Rostweiten verdoppelte sich die charakteristische Korngröße X_o aufgrund der anderen Materialzusammensetzung.

Verschleiß der Werkzeuge

Mit zunehmender Standzeit der Mühle nimmt auch der Verschleiß der Mahlwerkzeuge zu. Gawalpandi, Berthonex und Ham (27) haben diese wichtige Ein-

Abb. 4.12
Einfluß der Rostweite in mm auf die charakteristische Korngröße X_o (mm)



flußgröße auf die Korngrößenverteilung des Fertiggutes bei der vertikalen Hammermühle von Tollemache untersucht. Dabei ist der Feinanteil im Fertiggut zu Beginn der Abnutzungsperiode von Hämmern hoch. Gegen Ende der Standzeit von Hämmern wird der Feinanteil im Fertiggut geringer und die Korngrößenverteilung "stabiler". Der Einfluß des Hammerverschleißes und damit die Erweiterung des minimalen Spaltes der Mühle ist durch den Siebdurchgang (Y) in Prozent durch folgende Exponentialgleichung zu der verarbeiteten Abfallmenge seit dem letzten Hammerwechsel (Standmenge) in Beziehung gesetzt:

(12)

$$Y = b_o + b_1 \cdot \exp(-b_2 \cdot t) \quad (\%)$$

Y = Siebdurchgang (%)
t = Standmenge seit Hammerwechsel (t)
b_o; b_1; b_2 = experimentelle Konstanten

Zum Beispiel verringert sich der Siebdurchgang bei einer Sieblochweite von 25 mm so, daß zum Betriebsbeginn ca. 70 % kleiner als 25 mm, nach 100 t Durchsatz ca. 54 % kleiner und nach ca. 1500 t Durchsatz ca. 10 % des verarbeiteten Mülls kleiner als 25 mm ist. Die mathematische Beziehung lautet dann:

(12a)

$$Y = 10 + 65 \exp(-0{,}004 \cdot t) \quad (\%)$$

In einer Untersuchung von Terzek (63) kann ein Hammerverschleiß von 0,04 bis 0,07 kg/100 Tonnen Abfall erwartet werden. Solche Richtwerte sind ebenso wie die Formel 12 von der Abfallzusammensetzung, dem Hammermaterial, der Drehzahl des Rotors und der Einsatzstelle in der vertikalen Mühle abhängig. Bei höheren Drehzahlen und in stark beanspruchten Zerkleinerungszonen der Tollemachemühle können die obigen Werte bei 0,16 kg/100 Tonnen und bei gehärteten Hämmern bei 0,10 kg/100 Tonnen Abfall betragen.

Die Standzeit der gehärteten Hammerausrüstung liegt bei ca. 30 000 t Hausmüll. Durch die Verarbeitung von großen Mengen an Sperr- und Gewerbemüll können sich die verschleißbedingten Standzeiten verringern und sich die entsprechenden Kosten für Ersatzteile, Aufschweißen etc. verdoppeln.

Bei langsam laufenden Mühlen ist die Spaltbreite zwischen den Messern für den Zerkleinerungserfolg entscheidend. Nach ca. 200 bis 500 Betriebsstunden ist die obere maximale Spaltbreite von 0,8 mm, die eine gute Zerkleinerung und eine gute nachfolgende Sortierung ermöglicht, überschritten. Beim Aufschweißen der Messer ist eine wünschenswerte Spaltbreite von 0,1 mm nur zu erreichen, wenn ungehärtetes Messermaterial benutzt wird, was zwar einen guten Aufbereitungserfolg garantiert, aber bereits nach ca. 250 Betriebsstunden eine Erneuerung der Messer erforderlich macht. Mit gehärtetem Material sind dagegen Standzeiten von 500 Betriebsstunden möglich, wobei aber mit größeren Spaltbreiten von 1 – 2 mm gerechnet werden muß und für den anschließenden Sortierungsprozeß besonders abgestimmte Maschinen und Anlagenteile erforderlich sind.

Tabelle 4.1
Der Einfluß der Drehzahl auf die Kennwerte der Korngrößenverteilung im RRS-Diagramm bei einer Gründler Hammermühle (62)

	Drehzahl U/min	charak. Korngröße X_o mm	Gleichmäßigkeitskoeffizient n
	1	2	2
1	555	22	0,81
2	790	27	0,97
3	1200	20	0,81

Drehzahl

In der Tabelle 4.1 ist der Einfluß der Drehzahl des Rotors auf die Kenngrößen der Korngrößenverteilung einer Gründler Hammermühle aus den Untersuchungen von Terzek und Savage dargestellt. Generell führt eine höhere Drehzahl aufgrund der größeren Anzahl an Kollisionen je Zeiteinheit zu einem feineren Produkt. Eine eindeutige Aussage über die beiden Drehzahlen in Zeile 1 und Zeile 2 ist nicht möglich. Von Terzek und Savage wird vermutet, daß die Bedeutung der Drehzahlen erst oberhalb einer Mindestgeschwindigkeit gegenüber den anderen unabhängigen Variablen deutlich hervortritt.

4.1.2.2 Parameter des spezifischen Arbeitsbedarfs

Es gibt nur wenig allgemeingültige Informationen über den notwendigen spezifischen Arbeitsbedarf von Zerkleinerungsmaschinen. Verschiedene Abschätzungen haben ergeben, daß von der Antriebs-

energie ca. 99 % zur Deckung von Verlusten (Antriebsverlustarbeit, technische und physikalische Verlustarbeit) aufgewendet werden müssen. Der spezifische Arbeitsbedarf steigt mit abnehmender Korngröße exponentiell an. Die tatsächliche physikalische Nutzarbeit, bezogen auf die Zunahme der Oberflächenenergie, beträgt nur ca. 0,1 bis 2,0 % der Energie, die der Zerkleinerungsmaschine zugeführt wird. Der Hauptgrund für diese geringe Effizienz liegt in der Deckung der Verluste, die durch die Verformung und Reibung der Partikel entstehen und dadurch mehr Energie verbrauchen als für die Schaffung neuer Oberfläche nötig wäre. Der Wirkungsgrad der Zerkleinerungsarbeit hängt auch davon ab, wie die Energie eingesetzt wird und wie das Material darauf reagiert. Eine Kugelmühle, die harte Bestandteile zwar gut zerdrückt aber weiche Materialien kaum zerkleinert, würde zum Beispiel Energie vergeuden, um Textilien und Papier in der Korngröße zu reduzieren.

Aufgabekörnung

Der Einfluß der Aufgabekörnung auf den spezifischen Arbeitsbedarf läßt sich durch einen Vergleich von Haushaltsabfällen mit Geschäfts- und Gewerbeabfällen zeigen. Die spezifische Korngröße X_o von Geschäfts- und Gewerbeabfällen lag zwischen 2 bis 5 mal über der spezifischen Korngröße von unbehandeltem Hausmüll. In Versuchen von Terzek und Savage (62) konnte in mehreren Versuchen ein erheblich höherer Energieverbrauch pro Tonne Einsatzgut für den Gewerbemüll gemessen werden. Als spezifischen Arbeitsbedarf wurden für eine annähernd gleiche Korngrößenverteilung folgende Werte ermittelt:

Haushaltsabfälle:
14,8 kWh/t bei n = 1,0 und X_o = 23 mm

Geschäfts- und Gewerbeabfälle:
21,0 kWh/t bei n = 0,96 und X_o = 28 mm

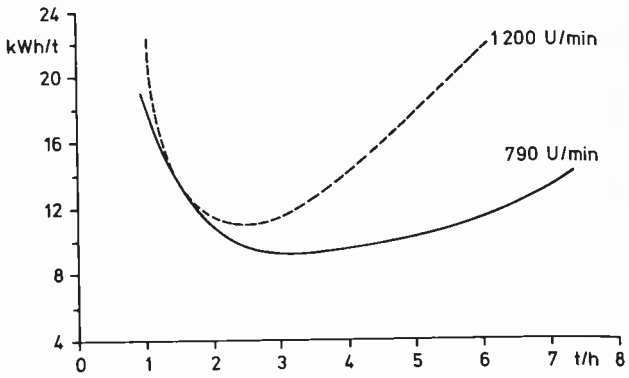
Kritische Bestandteile

Kritische Bestandteile im Müll erschweren die Zerkleinerung erheblich und erhöhen tendenziell auch den spezifischen Arbeitsbedarf. Größere Metalle und kompakte Eisenteile können neben den Schäden an Hämmern und Rostbrücken auch erhebliche Lastspitzen hervorrufen. Größere Chargen an Textilien, Matratzen, Kunststoffe aller Art können sowohl den Durchsatz verringern als auch den spezifischen Arbeitsbedarf um das 10-fache steigern.

Feuchte

Reinhardt und Ham (53) stellten in Madison bei Versuchen mit einer Tollemache Hammermühle fest, daß der spezifische Arbeitsbedarf im Winter um 2,3 kWh/t höher lag als im Sommer, was auf die unterschiedliche Müllfeuchte zurückgeführt werden konnte. Terzek und Savage stellten einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Gutfeuchte und dem spezifischen Arbeitsbedarf her. Die Versuche wurden zwischen 20 und 60 % Feuchtegehalt

Abb. 4.13
Der Einfluß von Beschickungsraten und Drehzahl auf den spezifischen Arbeitsbedarf (62)



durchgeführt. Die Werte ergeben eine Parabel mit einem Minimum für den spezifischen Arbeitsbedarf im Bereich einer Gutfeuchte von 35 – 40 Gew.-%.

Durchsatz und Drehzahl

Da Brüche im zu zerkleinernden Material progressiv entstehen, indem sich solange immer mehr Risse im Korn entwickeln, bis das Korn auseinanderbricht, ist die Geschwindigkeit, mit der die Zerkleinerungskraft eingesetzt wird, entscheidend. Es besteht nämlich eine zeitliche Differenz zwischen der eingesetzten Kraft und dem Bruch. Daher kann eine Mühle außerordentlich unwirtschaftlich arbeiten, wenn der Durchsatz zu hoch gewählt wird und dadurch der Energieverbrauch steigt. Daher ist auch eine gleichmäßige Beschickung wünschenswert. Durch eine gleichmäßige Auslastung der Zerkleinerungsmaschine beim Auslegungspunkt können ca. 10 – 15 % der Gesamtenergie eingespart werden. In Abbildung 4.13 ist der Einfluß der Beschickungsrate und der Drehzahl auf den spezifischen Arbeitsbedarf dargestellt. Die höhere Drehzahl ergibt einen höheren Energieverbrauch, der in der Abbildung z.B. bei 6 t/h um 50 % höher liegt. Langsamere Drehzahlen ergeben jedoch ein gröberes Korn. Um vergleichbare Zerkleinerungsergebnisse bei unterschiedlichen Drehzahlen zu erhalten, wurden annähernd gleiche Korngrößenverteilungen mit 790 U/min und 1200 U/min angestrebt. Dabei zeigte sich, daß bei einer Drehzahl von 790 U/min ein um 118 % höherer spezifischer Arbeitsbedarf gegenüber einer Drehzahl von 1200 U/min zum Erreichen des gleichen Zerkleinerungsergebnisses benötigt wurde.

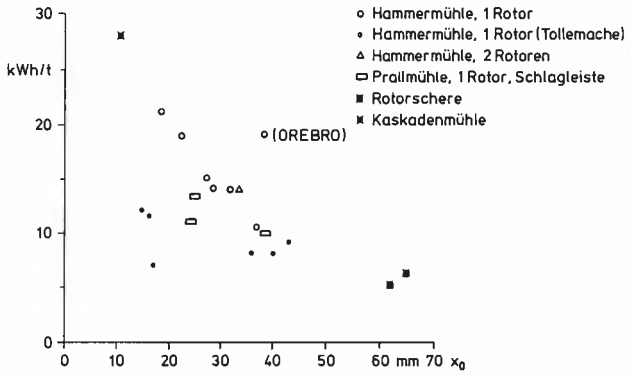
Endkörnung

Hinter der gewünschten Endkörnung nach einem Zerkleinerungsprozeß steht die Frage nach der Verknüpfung von Zerkleinerungsarbeit und Zerkleinerungsergebnis, die die Zerkleinerungsforschung bereits seit 100 Jahren beschäftigt. Bis heute gibt es keine akurate Abschätzung für den spezifischen Energieverbrauch bei der Zerkleinerung – sogar bei homogeneren Ausgangsstoffen. Daher gibt es eine

Reihe von Untersuchungen, die das Zerkleinerungsergebnis mit dem spezifischen Arbeitsbedarf in Beziehung setzen. Die Mühlentypen sind untereinander aber nur schwer vergleichbar. Terzek und Shiflett haben zum Beispiel bei einer Hammermühle die Hammerzahl von 24 auf 64 Stück erhöht und den Energieverbrauch, bezogen auf die Endkörnung, um 30 % gesenkt (64). Daher sind Ergebnisse von identischen Mühlen mit gleichem Abfall und einer Variablen besonders interessant. Über den Zustand der beiden Mühlen von Tollemache in Växjö aus der schwedischen Driftstudie (46) wurde bereits berichtet. Der Zerkleinerungsgrad, definiert als die charakteristische Korngröße X_o, betrug bei der Mühle mit neuen Schlaghämmern X_o = 15 mm, während die zweite Mühle mit abgenutzter Schlagausrüstung einen Wert von X_o = 36 mm erreichte. Der spezifische Arbeitsbedarf für die Zerkleinerung auf X_o = 15 mm betrug 12 kWh/t und auf X_o = 36 mm wurden 8 kWh/t benötigt. Damit erhöht sich der Energieverbrauch um 50 % bei einer Vergrößerung des Zerkleinerungsgrades von 36 auf 15 mm.

In der folgenden Abbildung 4.14 ist der spezifische Arbeitsbedarf in Abhängigkeit von der charakteristischen Korngröße von unterschiedlichen Mühlentypen dargestellt.

Abb. 4.14
Spezifischer Arbeitsbedarf (kWh/t) in Abhängigkeit von der charakteristischen Korngröße (mm) von unterschiedlichen Mühlentypen (46)



Die Zerkleinerungsarbeit kann nach unterschiedlichen empirischen Ansätzen beschrieben werden. Eine empirische Näherungsbeziehung wurde in den 50-er Jahren von Bond angegeben, nach der zwischen der massebezogenen Zerkleinerungsarbeit W und den 80 %-Korngrößen X_{80} und X'_{80} des Aufgabe- und des zerkleinerten Gutes folgender Zusammenhang besteht (56):

Vereinfacht ausgedrückt lautet die Gleichung dann:

(14)

$$W = 10\ W_i \left(\frac{1}{\sqrt{X'_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{X_{80}}} \right) \quad (kWh/t)$$

Der Arbeitsindex W_i stellt somit den Gesamtarbeitsbedarf für die Zerkleinerung einer Masseeinheit Material von der Ausgangskorngröße auf 80 % kleiner als 100 µm dar. Er enthält sämtliche Arbeitsbeträge, die in der Zerkleinerungsmaschine aufgebracht werden müssen. Stratton und Alter (59) haben für amerikanischen Hausmüll nachgewiesen, daß die charakteristische Korngröße des Rohmülls mit 254 000 µm angesetzt werden kann. Daraufhin lassen sich folgende Werte für W_i bestimmen (59):

- Hammermühlen mit horizontalem Rotor: W_i = 400 – 450 kWh/t
- Hammermühlen mit vertikalem Rotor: W_i = 300 – 350 kWh/t

4.2 Sieben

Die Siebung trennt Stoffe mit unterschiedlicher Korngröße in die jeweiligen gewünschten Korngrößenklassen. Dieser Vorgang wird als "Klassieren" bezeichnet. Im Gegensatz dazu steht die Sortierung, die ein körniges Haufwerk in Komponenten unterschiedlicher Stoffart oder Eigenschaften zerlegt. Bei der Siebung von Hausmüll kann neben der Klassierung nach der Korngröße auch gleichzeitig eine Sortierung nach Stoffen auftreten, wie aus der Beschreibung der Abfallzusammensetzung deutlich wird. Somit können Siebmaschinen auch zur sortierenden Klassierung verwendet werden.

4.2.1 Grundlagen der Siebklassierung

Bei der Siebklassierung erfolgt die Trennung nach charakteristischen Längen der Körner mit Hilfe einer Trennfläche (Siebboden), in der sich viele geometrisch angenäherte Öffnungen befinden. Körner, die bei ihrer Bewegung über den Siebboden hinweg in einer passenden Lage kleiner als die Öffnungen sind, können diese passieren und ins Feingut gelangen, während die anderen auf dem Siebboden verbleiben und das Grobgut bilden.

Da eine technische Siebung nur einen unvollkommenen Trennprozeß darstellt, kann ein gewisser Anteil des Unterkorns im Grobgut verbleiben, und bei Ausbildungsfehlern der Sieböffnungen oder Verschleißerscheinungen des Siebbodens kann auch Überkorn in das Feingut gelangen. Diese

(13)
$$W = W_i \frac{\sqrt{X_{80}} - \sqrt{X'_{80}}}{\sqrt{X_{80}}} \cdot \sqrt{\frac{100}{X'_{80}}} \quad (kWh/t)$$

W = spezifischer Arbeitsbedarf (kWh/t)
W_i = Arbeitsindex bei dem X'_{80} = 100 µm iststoffspezifisch (kWh/t)
X_{80} = 80 %–Korngröße des Einsatzgutes (µm)
X'_{80} = 80 %–Korngröße des zerkleinerten Einsatzgutes (µm)

Anteile werden als Fehlkorn (Fehlunter- bzw. Fehlüberkorn) bezeichnet. Besondere Probleme bereiten beim Absieben jene Korngrößenanteile, die in etwa der Sieböffnung entsprechen (Grenzkorn) und als Klemmkorn den Siebboden zusetzen.

Der Siebgütegrad ist eine Kenngröße für die Trennschärfe eines Siebvorganges und wird durch das Verhältnis der Feinkornanteile im Siebdurchgang und im Aufgabegut ausgedrückt, wobei die Voraussetzung gilt, daß kein Fehlüberkorn im Durchgang vorhanden ist.

(15) $$R = \frac{X_1}{X_0} \times 100 \quad (\%)$$

R = Siebgütegrad (%)
X_1 = Feinkornanteil im Siebdurchgang (kg)
X_0 = Feinkornanteil im Aufgabegut (kg)

Feinkörnige, feuchte, faserige und klebrige Haufwerke neigen zum Verstopfen der Siebmaschinen. Die offene Siebfläche wird verkleinert und der Siebdurchsatz nimmt ab. Um die Verstopfungen zu verhindern, werden bestimmte Siebkonstruktionen für siebschwierige Güter eingesetzt oder verschiedene Siebhilfen benutzt. Wichtige Siebhilfen sind Bürsten, Ketten, Siebheizungen, Luftstöße und Zusatzwasser zum Aufheben der Kapillarkräfte zwischen aneinanderklebenden Teilchen.

4.2.2 Siebmaschinen für Recyclinganlagen

Unzerkleinerter, aber auch zerkleinerter Hausmüll gehört aufgrund der faserigen und klebrigen Struktur sowie der teilweise hohen Feuchtigkeit im Aufgabegut zu den siebschwierigsten Gütern und ist auf konventionellen Siebmaschinen kaum absiebbar. Als technische Geräte konnten bisher Siebtrommeln und bestimmte Wurfsiebe erfolgreich eingesetzt werden. Andere Siebformen (z.B. Schwingsieb, Rüttelsieb) sind nur für bestimmte Abfallkomponenten (Glas, Mineralien, Metalle etc.) und nicht für das Abfallgemisch geeignet, da bereits nach einer kurzen Betriebszeit von ca. 2-6 Stunden die Siebroste je nach Textilanteil und Feuchtegehalt verlegt sind.

Die Siebklassierung kann je nach dem Ziel der Sortierung sowohl vor als auch nach der Zerkleinerung des Hausmülls eingesetzt werden. Wie unsere Untersuchungen in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt haben, wäre eine Siebung vor der Zerkleinerung zwischen 20 – 60 mm Korngröße zur Wiedergewinnung der Leichtfraktion, Glas und Schrott im Überkorn sinnvoll einsetzbar. Durch diese Einsatzmöglichkeit eines Siebes wird der Wertstoffanteil in der Fraktion erheblich angereichert. Gleichzeitig kann der Feuchtigkeitsgehalt des Überkorns stark gesenkt werden. Je nach Jahreszeit, benutzten Sammelbehältern und -fahrzeugen kann die Fraktion über 60 mm bereits einen Feuchtigkeitsgehalt von weniger als 20 % aufweisen. Ein weiterer Vorteil der Rohmüllsiebung liegt in der eingesparten Primärzerkleinerung mit ihren hohen Verschleiß- und Energiekosten.

Der Nachteil einer vorgeschalteten Siebung des Rohmülls liegt in erster Linie an der geringen spezifischen Siebleistung durch die großen Pappen, Papiere und Kunststoffe, an der erhöhten Verstopfungsgefahr durch Textilien, Draht etc., an der aufwendigen Öffnung von Mülltüten und anderen Behältnissen und an der notwendigen händischen Vorsortierung von sperrigen Müllkomponenten. Da die heutige Systemabfuhr Behältergrößen einsetzt, die auch Sperrmüllbestandteile wie Teppiche, Möbel, Kühlschränke etc. mit erfaßt, müssen vor der Siebklassierung des Rohmülls die großen Gegenstände aussortiert werden. Dazu eignet sich besonders ein vorgeschalteter Flachbunker.

Wird die Siebklassierung nach der Zerkleinerung eingesetzt, so ist darauf zu achten, daß die Wertstoffanteile aus den oberen Korngrößenklassen nicht zu stark und Vegetabilien mit einem hohen Feuchtigkeitsgehalt sowie Glas und mineralische Bestandteile stärker zerkleinert werden.

4.2.2.1 Trommelsieb

Der Durchsatz und die Trennleistung einer Siebtrommel sind durch die Lochweite, den Durchmesser, die Drehzahl, die Einbauten und den Neigungswinkel der Trommel gekennzeichnet. Da die effektive Siebfläche einer Siebtrommel relativ klein ist, wird durch geeignete Mitnehmer und Wandkonstruktionen (Polygonsieb) versucht, das Siebgut möglichst weit an der drehenden Trommelwand mit nach oben zu nehmen, um damit eine effektivere Siebung zu erzielen.

Durch die Vergrößerung des Neigunswinkels einer Trommel wird im Bereich > 5 Grad der Siebgütegrad rapide schlechter. Um den Siebgütegrad zu verbessern, wurden von Tollemache an der Siebtrommelwand durchgehende spiralförmige Mitnehmer für den Mülltransport eingebaut, so daß die Siebtrommel ohne Neigungswinkel eingesetzt werden kann.

Für die Planung und technische Auslegung von Siebtrommeln wurden eine Reihe von praktischen Faustformeln entwickelt. Um einen Siebgütegrad von ca. 90 % zu erzielen, muß sowohl die Verweilzeit des Materials in der Trommel als auch die Siebfläche groß genug sein und sollte eine Trommelbeladung von 0,1 t/m² nicht überschreiten (17). Bei Versuchen mit einem Trommelsieb und Rohmüll konnte bei einer Beladung von 0,41 t/m² ein Siebgütegrad von 80 % erreicht werden (17).

Für die Verweilzeit von unzerkleinertem Müll werden von Alter und Crawford mindestens 25 – 30 Sekunden gefordert, und bei einem Trommeldurchmesser von 2,70 m wurde eine optimale Rotationsgeschwindigkeit von ca. 45 % der kritischen Geschwindigkeit gefunden (1).

Bei zwei Untersuchungen in der Byker Sortieranlage konnte Barton (6) für ein Trommelsieb nach der Zerkleinerung bei unterschiedlichen Lochweiten auch verschiedene Siebleistungen messen. So betrug der Siebgütegrad für die Korngröße < 10 mm nur 32,5 und 34,3 %, während das Mittelgut mit

einer Korngröße von 10 – 160 mm einen Siebgütegrad von 90 – 95 % aufwies.

Barton, Pol und Wheeler haben die unterschiedlichen Einflußgrössen, wie Mitnehmer und Rotationsgeschwindigkeit, auf die Siebleistung eines Trommelsiebes bei einer Lochweite von 40 mm bei Rohmüll untersucht (7). Die Effekte sind in der Abbildung 4.15 dargestellt.

4.2.2.2 Spannwellensieb

Das Spannwellensieb hat sich bereits als ein verstopfungsfreies, leistungsfähiges Aggregat insbesondere bei der Absiebung des Kompostes bewährt. In der Abbildung 4.16 ist das Spannwellensieb mit abgenommener Staubabdeckung dargestellt.

In einem größeren Versuch in Wien wurde nach der Zerkleinerung ein Spannwellensieb mit einer Lochweite von 18 mm und einer Siebfläche von 3 m^2 eingesetzt. Das Sieb wurde mit 0,2 t/m^2 beaufschlagt, und der Siebgütegrad lag bei 69 %. Der Siebüberlauf bildete das Ausgangsprodukt für die BRAM-Herstellung. Der Aschegehalt konnte im Mittel um 12 Gew.-% und die Feuchte um ca. 1,5 Gew.-% gegenüber dem Ausgangsmaterial gesenkt werden. Während der gesamten Versuchsperiode blieb das Sieb verstopfungsfrei.

Der Siebgütegrad von 69 % ist allerdings noch verbesserungsbedüftig. Da dieses kurze Versuchssieb aber nur Verweilzeiten von ca. 20 Sekunden erlaubte, können bei größeren Anlagen bessere Ergebnisse erwartet werden.

Abb.4.15
Der Effekt von Mitnehmern und Rotationsgeschwindigkeit auf die Siebleistung bei Rohmüll mit einem Trommeldurchmesser von 1,6 m, einer Trommellänge von 6,3 m und einer Sieböffnung von 40 mm (7)

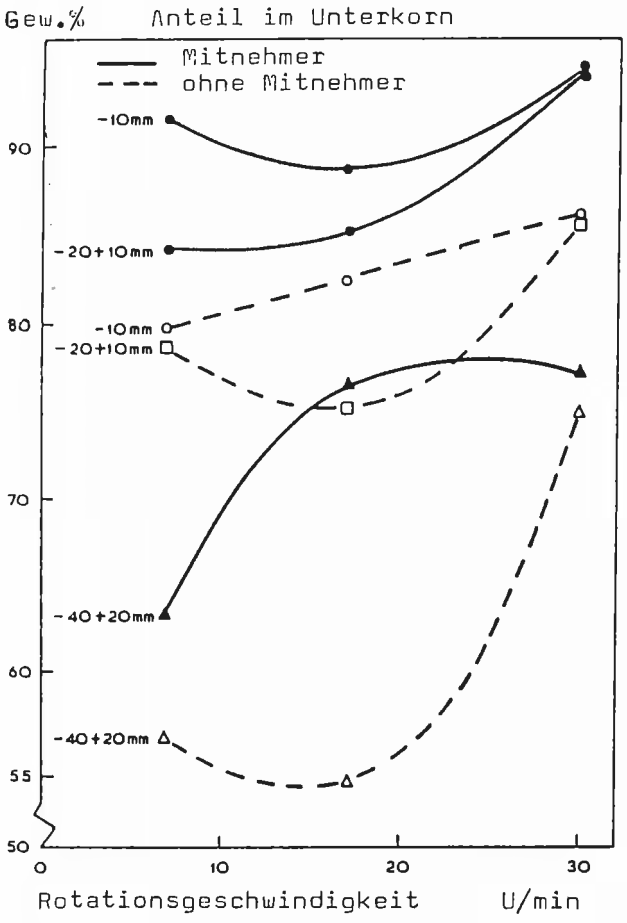


Abb. 4.16
Darstellung eines Spannwellensiebes von der Firma Hein. Lehmann AG

4.2.2.3 Ballistischer Separator

Der ballistische Separator der schwedischen Firma PLM Miljöteknik AB ist zur Zeit das wohl erfolgreichste Aufbereitungsaggregat der letzten 5 Jahre in der Recyclingtechnik. Entwickelt wurde das Gerät für die Trennung des zerkleinerten Hausmülls in drei Fraktionen: Schwer-, Leicht- und Feinfraktion.

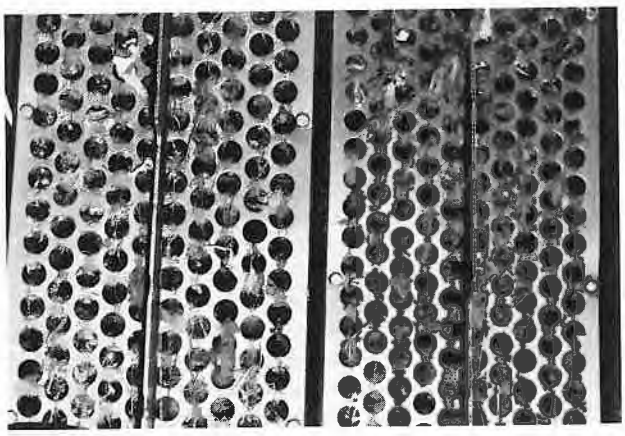
Der zerkleinerte Müll wird am unteren Ende der Siebsegmente aufgegeben. Während harte und elastische Bestandteile nach dem Aufprall in die Schwerfraktion springen, werden die leichten Bestandteile von der kreisförmigen Bewegung der Siebsegmente nach oben geschleudert. So können Abfallkomponenten wie Papier, leichte Pappen, Textilien, Folien etc. am oberen Ende des Separators als Leichtfraktion ausgetragen werden. Während der Wurfbewegung können feine Bestandteile wie Mineralien, Glas, Vegetabilien, Holz etc. durch die Sieböffnungen in die Feinfraktion gelangen. In Abbildung 4.17 ist der ballistische Separator während des Aufbaus in der Wiener Recyclinganlage dargestellt. Deutlich sichtbar sind die Siebsegmente und die verschiedenen Kämme, die die Trennung unterstützen. Die Separatoren werden zur Zeit nur in diesen Abmessungen gebaut und sind für eine Kapazität von ca. 10 t/h oder 90 m^3/h ausgelegt. Für das Gerät sind 5 kW Anschlußleistung erforderlich. Die geneigte Fläche besteht aus 10 Segmenten, die jeweils eine Breite von 250 mm und eine Länge von 5600 mm haben. Diese Elemente lagern

Abb. 4.17
Blick in den ballistischen Separator während des Aufbaus in der Recyclinganlage im November 1983 in Wien

auf einer Kurbelwelle, so daß die Elemente zueinander verschobene Bewegungen vollführen und damit eine optimale Umschichtung erreichen. Durch die Wahl der Lochgrößen kann der Anteil der Feinfraktion bestimmt werden.

In der Recyclinganlage in Wien stand der ballistische Separator über einen längeren Zeitraum für Versuche zur Verfügung. Insgesamt wurden über 80 t Müll aus unterschiedlichen Stadtgebieten (sehr nasser Müll, aschereicher Müll, trockener und heizwertreicher Müll) mit verschiedenen Behältersystemen und unterschiedlichster Zusammensetzung zerkleinert und die Trennleistung des Aggregats nach den unterschiedlichsten Gesichtspunkten getestet. Als Leichtfraktion, die für die BRAM-Herstellung benutzt wurde, konnten 47,7 Gew.-% des Inputs wiedergewonnen werden. Die Sieblochweite betrug 20 mm. Der Siebgütegrad betrug für den gesamten Probelauf 81,8 %. Durch faserige Bestandteile wird die Sieblochung der Segmente geringfügig verlegt und sollte in Abständen von ca. 1 bis 3 Tagen gesäubert werden. Abbildung 4.18

Abb. 4.18
Sieblochung nach einem Betrieb von ca. 24 Stunden

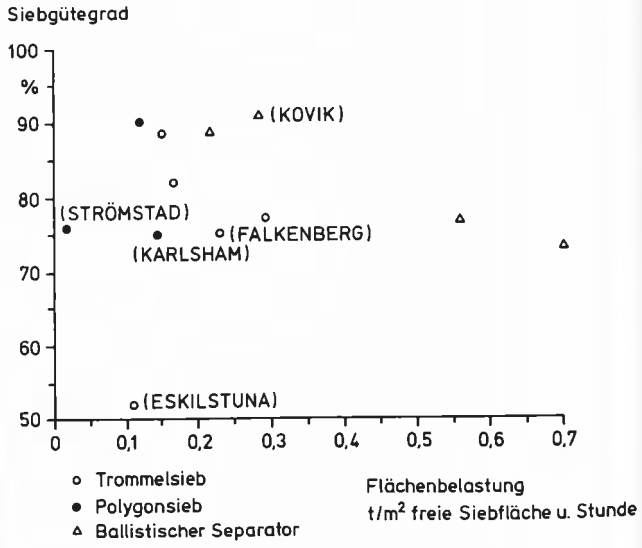


stellt den Zustand der Sieblochung nach 24 Stunden Betrieb dar.

4.2.2.4 Auswahlkriterien für eine Siebmaschine

Alle drei hier vorgestellten Siebmaschinentypen sind für den Einsatz in Recyclinganlagen geeignet. Ausschlaggebend für die Trennleistung ist die richtige Dimensionierung und das jeweilige Aggregat für den gewünschten Anwendungsfall. Bei den Untersuchungen in Wien wurden die verschiedenen Siebmaschinen nach der Zerkleinerung getestet. Die Ergebnisse der Untersuchungen entsprechen in ihrer Tendenz den Ergebnissen der DRAV-Studie, die hier kurz vorgestellt werden soll. In der Abbildung 4.19 ist der Siebgütegrad für verschiedene Siebmaschinen nach der Primärzerkleinerung als Funktion der Flächenbelastung der Siebe durch das Überkorn dargestellt. Neben den technischen Mängeln, die zum Beispiel beim Trommelsieb in Eskilstuna sichtbar werden, wird auch die schlechte Betriebsführung in Bezug auf die Überbelastung der Aggregate deutlich. Nicht in die Abbildung aufgenommen sind die Ergebnisse mit dem Spannwellensieb in Landskrona. Bei der enormen Flächenbelastung durch das Überkorn von 0,8 t/m² Sieböffnung und Stunde konnte ein Siebgütegrad von 55% erreicht werden.

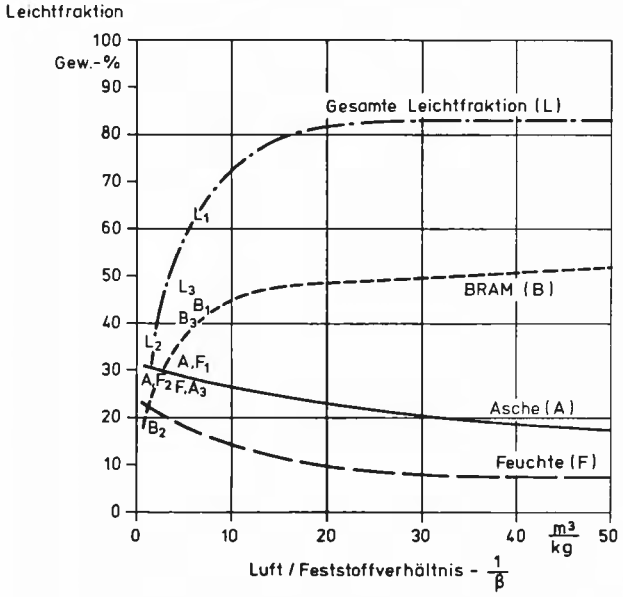
Abb. 4.19
Der Siebgütegrad von verschiedenen Siebmaschinen nachgeschaltet nach Zerkleinerungsanlagen in Abhängigkeit zur Flächenbelastung der Siebe durch das Überkorn (46)



4.3 Windsichten

Das Verfahren der Windsichtung zur Klassierung von Haufwerken beruht auf der Gleichfälligkeit im aufsteigenden Luftstrom. Gleichfälligkeit bedeutet, daß verschiedene Teilchen gleiche Endfallgeschwindigkeiten erreichen. Wenn Teilchen gleichfällg sind, dann müssen sie unter gleichen Anfangsbedingungen gleiche Bahnen beschreiben.

Abb. 4.20
Der Einfluß des Luft/Feststoffverhältnisses auf die Ausbeute der Leichtfraktion sowie den BRAM-, Asche- und Feuchtigkeitsgehalt der Leichtfraktion abgeleitet nach (68) mit Versuchsdaten aus der Sortieranlage in Wien.
Versuch 1 Testlauf mit 3,32 t/h
Versuch 2 Normalbetrieb mit 8,30 t/h
Versuch 3 Testlauf mit 4,20 t/h mit vorgesiebtem Material



4.3.1 Grundlagen des Windsichtens

Der Sichter trennt nach der Sinkgeschwindigkeit der Teilchen, wobei die Sinkgeschwindigkeit in der Praxis in einer unübersichtlichen Weise von der Kornform und vom jeweiligen Stoff abhängt. Als Faustregel genügt für die Praxis, daß der Windsichter nicht nach der Größe der Körner, sondern sie nach ihrer Dicke trennt. Bei der Windsichtung von Müll kommt noch hinzu, daß jede Stoffgruppe des Abfalls ein anderes spezifisches Gewicht hat und daher die Kornscheide, bezogen auf die Dicke der Stoffe, unterschiedlich ausfällt.

Für die Auslegung von Windsichtern ist die Beladung in kg Aufgabegut pro m^3 Luft oder der reziproke Wert insoweit von Bedeutung, als oberhalb eines bestimmten Verhältnisses die effektive Trennung in eine Leicht- und Schwerfraktion nicht mehr stattfindet. Das Verhältnis zwischen der Wiedergewinnungsrate, bezogen auf den Anteil der Leichtfraktion, und dem Luft/Feststoffverhältnis ist in der Abbildung 4.20 dargestellt. Die dargestellten Kurven sind aus amerikanischen Untersuchungen (68) übernommen worden und mit Versuchsdaten aus der Recyclinganlage in Wien auf ihre Anwendbarkeit hin überprüft. Der Versuch mit dem Index 1 stellte einen Testlauf zur Überprüfung der Anlage in Wien dar und wurde bei einem Durchsatz von 3,32 t/h durchgeführt. (Die Windsichterauslegung betrug laut Werk 22 t/h). Bis auf die Feuchtewerte, die etwas anderen Gesetzmäßigkeiten folgen, als in der Studie angenommen wird, können die amerikanischen Werte erreicht werden. Der Versuch (Index 2) stellte den Normalfall im Betrieb der Recyclinganlage dar, während der Versuch mit dem Index 3 mit vorgesiebtem Material vorgenommen wurde. Aus der Abbildung 4.20 wird deutlich, daß hohe Wiedergewinnungsraten nur bei geringen Feststoffbeladungen möglich sind.

Aus diesen Überlegungen läßt sich der Durchsatz eines Windsichters ableiten:

(16) $Q = A \cdot \mu_A \cdot \beta_L \cdot 3600$ (kg/h)

Q = Durchsatz (kg/h)
A = Sichtraumquerschnitt (m^2)
μ_A = mittlere Strömungsgeschwindigkeit (m/sec)
β_L = mittlere Feststoffbeladung der Luft (kg/m^3)

Unabhängig von diesen Größen hat auch das Schüttgewicht, die Feuchte, die Müllzusammensetzung und die vorhergehende Zerkleinerung einen Einfluß auf die Formel, so daß diese Gleichung nur als praktischer Richtwert gelten kann.

4.3.2 Windsichtertypen in Recyclinganlagen

Eine Reihe von verschiedenen Windsichtertypen wurden für Kompostanlagen (21) und für Hausmüll (6,7,16,68) getestet. Von den ursprünglich unterschiedlichsten Gerätetypen werden überwiegend zwei Arten in der Hausmüllaufbereitung eingesetzt: Zick-Zack Windsichter und Rotationswindsichter.

Zick-Zack-Windsichter

Der Zick-Zacksichter ist für Hausmüll eingehend untersucht und vielfach eingesetzt worden. In einem senkrecht stehenden zick-zackförmigen Sichtrohr strömt Luft von unten nach oben. Das Besondere an dieser Sichterform ist, daß sich der Sichtvorgang an jeder Knickstelle durch eine Querstromsichtung wiederholt und somit Fehlsichtungen der vorhergehenden Zone korrigiert werden können. In Abhängigkeit von der Anzahl der Sichtglieder, der geometrischen Abmessung, dem Aufgabeort und der Menge des Abfalls, der Abfallzusammensetzung und der Windgeschwindigkeit lassen sich gröbere und feinere Trennschärfen erzielen. In der Abbildung 4.21 ist ein Zick-Zack-Windsichter aus der Recyclinganlage in Wien dargestellt.

Rotationswindsichter

Der Rotationswindsichter von der Firma Tollemache besteht aus drei wesentlichen Elementen: einer rotierenden Trommel, einer Sicht- und Absetzkammer und einem Druckluftsystem. Die Anordnung geht aus der Abbildung 4.22 hervor. Die rotierende Trommel ist etwas geneigt (ca. 15 Grad zur Horizontalen) und nach oben hin konisch erweitert. Der zerkleinerte und bereits abgesiebte Müll wird mit einem Förderband zum oberen Ende dieser Trommel transportiert. Druckluftdüsen geben Preßluft parallel zur Trommelachse und sind der Trommelbewegung gleichgerichtet. Auf diese Art und Weise wird das flugfähige Material verwirbelt und nach

Abb. 4.21
Darstellung eines Zick-Zack-Windsichters mit Aufgabeschleuse und Zyklon in der Recyclinganlage in Wien

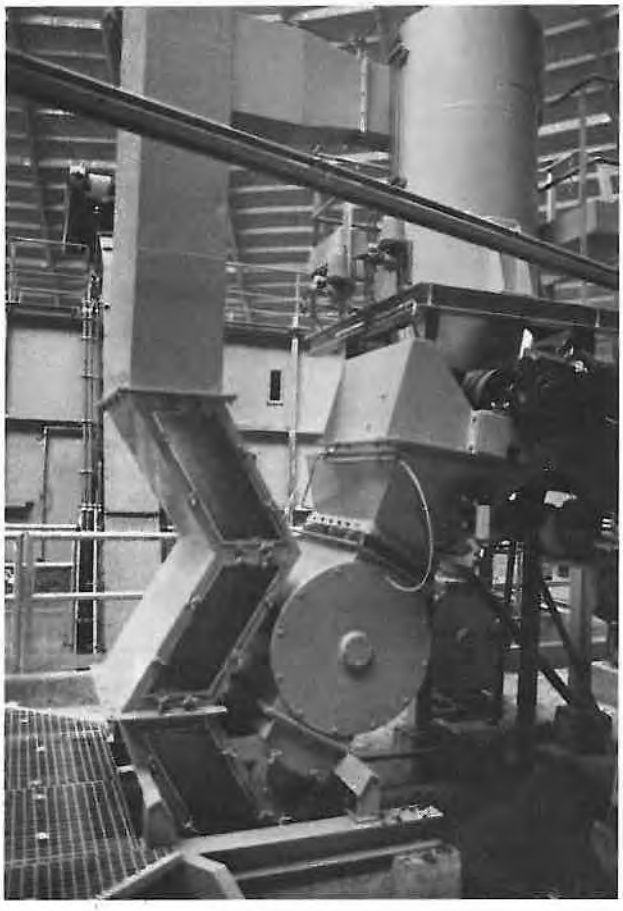
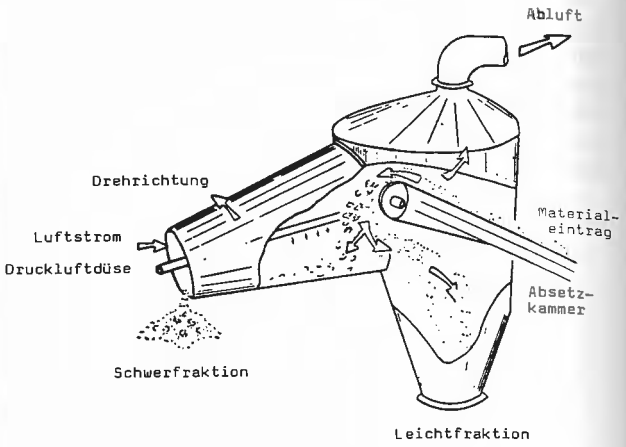


Abb. 4.22
Schematische Darstellung der Funktionsweise des Rotationswindsichters



oben hin in die Absetzkammer transportiert. Die Schwerfraktion wird in der Trommel weitertransportiert und am kleinen Durchmesser ausgetragen. Um eine kontinuierliche Luftströmung über die ganze Trommel zu erzielen, wird am unteren kleinen Durchmesser Zusatzluft eingeblasen. Trennkorngröße und Trennschärfe können durch Änderung des Luftvolumens, Druckluftänderung, durch einen anderen Neigungswinkel der Trommel und durch eine veränderte Beschickung des zerkleinerten Materials beeinflußt werden.

Zur Minimierung der Abluftfilter wird ein großer Teil der Luft im Kreislauf geführt.

In den Untersuchungen von Barton (6) wurde der Trennerfolg des Rotationswindsichters in der Anlage in Byker getestet. In der Tabelle 4.2 sind die Wiedergewinnungsraten des Rotationswindsichters für die Leichtfraktion in Bezug auf den Gesamtgehalt der jeweiligen Stoffgruppe im Müll angegeben. Im Versuch 1 (Spalte 1) konnten 43,05 Gew.-% und in Versuch 2 (Spalte 3 der Tabelle 4.2) konnten 48,27 Gew.-% des an die Anlage angelieferten Mülls in der Leichtfraktion wiedergefunden werden.

Tabelle 4.2
Die Wiedergewinnungsraten der Leichtfraktion des Rotationswindsichters aus zwei Testläufen, bezogen auf den Gesamtgehalt der jeweiligen Stoffgruppe im Müll (6)

	Stoffgruppe	Leichtfraktion Gew.-%	Gew.-%
	1	2	3
1	Papier, Pappe	69,1	80,7
2	Kunststoff-Folien	83,6	89,8
3	Kunststoff-Formkörper	56,9	52,2
4	Textilien	63,5	75,1
5	verschied. Brennbares	39,3	34,6
6	verschied. nicht Brennbares	16,3	2,6
7	Glas	–	9,7
8	Vegetabilien	13,9	44,0
9	FE-Metall	6,8	6,1
10	NE-Metall	29,3	10,8
11	< 10 mm	34,1	37,8

Aus diesen Daten wird deutlich, daß der Rotationswindsichter durch die vorhergehende Siebtrommel nicht effektiv entlastet und damit kein aschearmes BRAM-Vorprodukt entstehen konnte.

Der Energieverbrauch des Sichters betrug beim Versuch 1 13,6 kWh/t bei einem Durchsatz von 19,05 t/h und beim zweiten Versuch 15,1 kWh/t bei einem Durchsatz von 16,66 t/h.

4.3.3 Probleme und Einsatzmöglichkeiten von Windsichtern

Im Gegensatz zu den amerikanischen Forschungsergebnissen, die in Abbildung 4.20 dargestellt sind, konnte in unseren Versuchen in Berlin und Wien für die Feuchtigkeit etwas anderes festgestellt werden. Die Feuchtetrennung kann dabei je nach Windgeschwindigkeit mehr oder weniger erfolgreich durchgeführt werden.

Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten zwischen 4 – 5 m/sec. wird das Schwergut einen ca. 2 – 5 Gew.-% höheren Feuchtegehalt gegenüber dem Leichtgut aufweisen. Als Faustregel kann gelten, daß sich bei ca. 6 m/sec. für beide Fraktionen gleiche Feuchten bestimmen lassen. Für Sichterluftgeschwindigkeiten über 6 m/sec. kann als überschlagsmäßiger Wert ein Feuchteanstieg in der Leichtfraktion von ca. 0,27 % pro Meter/Sekunde gegenüber der Ausgangsfeuchte des Mülls angenommen werden.

Bereits um 1975 wurden von Dah-Nien-Fan im NCRR empirische Formeln für die Windsichterausbeute aufgestellt (16). Dabei gilt für den Aschegehalt die Beziehung:

(17) $$\text{Aschegehalt in Gew.-\%} = \left(1 - \frac{62,7}{65,8 + 0,36\ V^{1,3}}\right) \times 100$$

und für den (abgeändert aus dem amerikanischen auf DIN-Berechnung):

(18) $$\text{Brennwert } H_o \text{ in MJ/kg TS} = \frac{1224,4}{65,8 + 0,36\ V^{1,3}}$$

V = Luftgeschwindigkeit (m/sec).

Aus diesen Gleichungen läßt sich ableiten, daß mit steigender Windgeschwindigkeit um einen Meter/Sekunde der Aschegehalt um ca. 1 % steigt und der Brennwert um ca. 220 kJ/kg TS fällt.

Bei einer experimentellen Überprüfung in Wien bei mehreren Versuchsläufen mit ca. 30 Tonnen konnte eine gute Übereinstimmung mit den theoretischen Werten erzielt werden, wie aus der Abbildung 4.20 deutlich wird. Beim Heizwert wurden Abweichungen von 350 – 560 kJ/kg TS und bei der Asche – als mineralische Begleitsubstanz – von +/ – 2,5 Gew.-% gemessen.

Schon bei einer genaueren Betrachtung der Abbildung 4.20 und der theoretischen Formeln fällt auf, was in der Praxis sehr deutlich wird, daß der Windsichter als erstes Trennaggregat nach der Mühle nicht geeignet ist. Um nämlich die brennbaren Bestandteile im Hausmüll maximal zu nutzen, ist eine höhere Windgeschwindigkeit wünschenswert, da trotz sinkendem Brennwert/kg Leichtfraktion die Gesamtausbeute an BRAM steigt.

Aus der Gleichung für die Asche wird aber deutlich, daß mit steigender Windgeschwindigkeit der Aschegehalt und damit der mineralische Anteil im BRAM überproportional steigt.

Obwohl Windsichter als erstes Klassieraggregat nach der Mühle keinen Sinn haben und der spezifische Energieverbrauch relativ hoch liegt, können sie für die nachgeschaltete Trennung sehr nützlich sein.

Nach einem Trommelsieb kann der Windsichter aus dem Überkorn vor allem schadstoffreiche Bestandteile (Kunststoff-Formkörper, NE- und Fe-Metalle, Gummi und Leder), große und nasse Stoffe (Vegetabilien) und schlecht zerkleinerte Abfallkomponenten, die die nachfolgende Siebung und Brennstoffkonfektionierung stören würden (Textilien), entfernen. Dazu muß das Sieb nach der Zerkleinerung besonders die feinen aschehaltigen Korngrößenklassen nachhaltig entfernen, damit der Aschegehalt des Endproduktes niedrig wird. Der in der Abbildung 4.20 dargestellte Versuch mit dem Spannwellensieb nach der Zerkleinerung zeigt, daß mit einem Windsichter dann gute Ergebnisse erzielbar sind.

4.4 Verdichten

Bei der Verdichtung von Produkten werden zwei verschiedene Verfahren der Agglomeration eingesetzt und nach zwei Hauptmerkmalen unterschieden (23):

- Verfahren, bei denen die Partikelhaftung durch Mischen mit Feuchtigkeitszusatz und Trocknen zustandekommt, kann man mit dem Begriff Aufbauagglomeration zusammenfassen.
- Verfahren, bei denen die Partikelhaftung durch von außen wirkende Kräfte unterstützt wird, gehören zur Gruppe der Preßagglomeration.

Für die Lagerung und den Transport der verschiedenen Recyclingprodukte ist eine Verdichtung unbedingt notwendig. So ist der Einsatz von Ballenpressen für die Produkte Papier, Pappe und Kunststoff-Folien unumstritten. Für die Verdichtung des losen Brennstoffs aus Müll (Fluff) kommen aber noch Preßcontainer, Brikettier- und Pelletierpressen in Betracht.

Obwohl die Verdichtung von losem BRAM im Preßcontainer oder zu Ballen nach unserer vergleichenden Untersuchung in Wien preiswerter als die Pelletierung durchzuführen ist, weisen diese Maßnahmen einige Nachteile bezüglich der Handhabung, der Ofenbeschickung, der Lagerung und der Feuerungsführung auf, so daß die Pelletierung von uns genauer untersucht wurde.

4.4.1 Pelletiermaschinen in Recyclinganlagen

In der Praxis hat die Pelletierung den Vorteil, daß dabei ein Produkt mit folgenden Eigenschaften entsteht:

- Verringertes Lagervolumen durch die Erhöhung des Schüttgewichtes von losem Brennstoff (ca. 65 kg/m³) zu weichen Pellets (ca. 450 kg/m³) oder zu harten Pellets (ca. 650 kg/m³)
- Verbesserte Fließ- und Dosiereigenschaften
- Vermeidung von Brückenbildung in Silos und Transportaggregaten
- Erhöhung der Energiedichte und des Wärmeinhaltes durch Druck und Wärme.

In der Praxis zur Verpressung von losem BRAM werden Pelletpressen in drei verschiedenen Grundausführungen gebaut: als Ringmatrizen-, Flachmatrizen- und John-Deer-Pressen.

John-Deer-Presse

Dieser Pressentyp, hergestellt und vertrieben von der Firma PLM Miljöteknik, besteht aus einem Ring von senkrecht angeordneten Presskanälen mit einem Querschnitt von 32 x 32 mm. Das zu verpressende Material wird von oben auf die Kollerspur über den Preßkanälen gegeben. Der Koller preßt das Material in die quadratischen Kanäle.

Die PLM Miljöteknik bietet zur Zeit Geräte mit einem Durchsatz von ca. 3,5 t/h an. Der gemessene spezifische Energiebedarf liegt bei ca. 25 kWh/t Pellets.

Eingesetzt werden diese Geräte zur Zeit bei sechs Betreibern von Recyclinganlagen zur Herstellung von BRAM in Schweden.

Ringmatrizenpresse

Für diesen Pressentyp gibt es eine Reihe von Herstellern. Bekannt geworden bei der Verpressung des losen BRAM sind die Pressen von Simon Heesen, CPM und Bühler Miag.

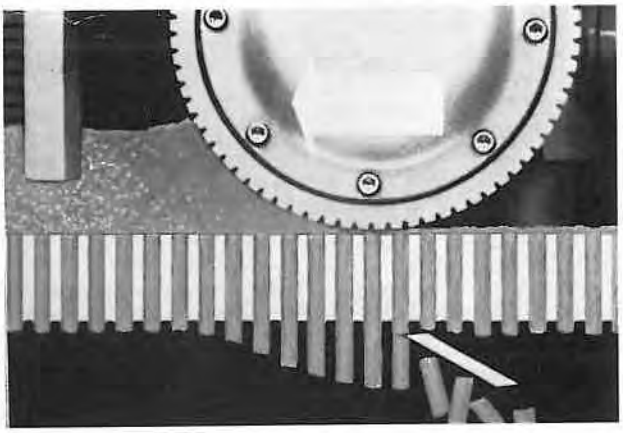
In der Regel bestehen die vertikal angeordneten Preßorgane aus einem Matrizenring und innenlaufenden Kollern. Das Material wird von innen radial durch die Bohrungen der zylinderförmigen Matrize gepreßt. Die Anzahl und Größe der Koller sind durch den Matrizeninnenraum begrenzt. Der lose BRAM wird axial über eine Schnecke oder bei rieselförmigem Material auch über eine Rutsche zugeführt.

Der Durchsatz für traditionelle Materialien wie Futtermittel liegt bei ca. 8 – 12 t/h je nach Pressentyp. Für losen BRAM beträgt der entsprechende Durchsatz nur 5 – 7 t/h. Der durchschnittliche Energieverbrauch liegt zwischen 32 – 40 kWh/t Pellets. Zur Zeit sind eine Reihe von Recyclinganlagen in England, USA, Holland und Frankreich mit diesen Pressen ausgerüstet.

Eine besondere Verpressungsmethode ist die Vor- und Nachverdichtung in der Bykeranlage, die die Erfahrungen der schwer verpressbaren Schüttgüter kopiert und für die BRAM-Herstellung nutzbar macht. Nach dieser Methode sind in der Bykeranlage Ringmatrizen vor und nach einem Kaskadentrockner angeordnet. Das lose Material wird auf eine Dichte von 350 – 420 kg/m³ zu Weichpellets von 10 – 15 mm Länge und einem hohen Anteil an flockigen und feingepreßten Plättchen mit einem Feuchtigkeitsgehalt zwischen 26 – 29 Gew.-% verdichtet. Der Durchsatz liegt zwischen 6 – 7 t/h bei einem Energieverbrauch von 12,6 – 14,3 kWh/t (6).

Beim anschließenden Trocknungsvorgang zerfallen die Weichpellets vollständig und werden mit einer Endfeuchtigkeit zwischen 10 – 12 Gew.-% der Nachverdichtung zugeführt. Dieser Verdichtungsschritt erzeugt harte Pellets, die mit ca. 120 – 136 Grad C in den Kühler gehen. Der zweite Verpressungsschritt setzt ca. 5 – 6 t/h bei einem Energieverbrauch von 32 – 39 kWh/t Pellets durch (6).

Abb. 4.23
Schematische Darstellung eines Preßvorganges der Flachmatrizenpresse der Firma Amandus Kahl Nachf.



Flachmatrizenpresse

Die Flachmatrizenpresse besteht aus einer runden und flachen Matrize, auf der die Koller rotieren. Das Material wird senkrecht axial durch die Preßkanäle gepreßt, wie die Abbildung 4.23 schematisch darstellt. Die Kollerabmessungen und Kolleranzahl können flexibler als in der Ringmatrizenpresse gehandhabt werden. Das zu verpressende Einsatzmaterial fällt senkrecht von oben auf die Preßorgane. Leitbleche oder Zwangseinspeiseelemente sind nicht erforderlich.

Werden zylindrische Koller eingesetzt, entstehen zwischen Koller und Matrize Scherkräfte entsprechend einem Kollergang. Dieser positive und negative Schlupf bewirkt einen zusätzlichen Aufschluß und Vorzerkleinerung des Materials und eine Verringerung der erforderlichen Preßkraft.

Die Flachmatrizenpresse von der Firma Amandus Kahl ist in Recyclinganlagen in Österreich, Italien, Frankreich und Deutschland im Einsatz.

In der Recyclinganlage Wien wurde eine Flachmatrizenpresse von Amandus Kahl Nachf. über zwei Jahre in Dauerbetrieb getestet. Untersucht wurde der Pressentyp 35-780 mit einem 110 kW-Antrieb, einer Matrizenlochfläche von 1.916 cm^2, einer Matrizenlochung von 20 mm, Matrizenhöhe von 120 mm und einem Durchmesser von 780 mm. Eingesetzt wurden drei konisch oder zylindrisch geformte Koller.

Bei normalen Einsatzgütern beträgt der Durchsatz dieser Presse ca. 2,5 – 3,0 t/h.

Die Korngrößenverteilung und Materialzusammensetzung des losen Fluff in Wien setzte sich so zusammen, daß ca. 12 Gew.-% größer als 120 mm und der Anteil in dieser Kornklasse ca. 25 Gew.-% Textilien betrug. Der Durchsatz zur Herstellung von Hartpellets betrug ca. 1,9 t/h mit einem spezifischen Energieverbrauch von ca. 34 – 36 kWh/t Pellets, während bei der Herstellung von Weichpellets der Durchsatz auf 2,1 – 2,4 t/h stieg und der Energieverbrauch auf ca. 18,3 – 22,6 kWh/t Pellets fiel.

4.4.2 Probleme und Einsatzmöglichkeiten von Pelletierpressen

Eine Reihe von material- und verfahrensbedingten Parametern lassen sich so verändern, daß sich sowohl der Durchsatz vergrößern als auch der Energieverbrauch der eingesetzten Pelletierpressen senken läßt (44). Dadurch wird die Qualität der Pellets nachhaltig verändert (30).

Die Probleme – besonders bei den Ringmatrizenpressen – liegen in der Beschickung von großen und langen Bestandteilen, vorzugsweise Textilien, die sich um Schnecken, Koller etc. wickeln können und zu Verstopfungen führen.

Ebenso ist der Verschleiß der Pelletiermaschinen abhängig von der Trennleistung der vorgeschalteten Aggregate. Wie die Erfahrungen in Wien gezeigt haben, muß der Aschegehalt des losen BRAM niedrig gehalten werden. Bei einem Aschegehalt von ca. 12 Gew.-% ist von einer Lebensdauer des Kollers von 1800 – 2000 t auszugehen. Steigt der Aschegehalt auf 22 – 24 Gew.-%, sinkt die Einsatzzeit auf 400 – 600 t Durchsatz.

Abb. 4.24
Blick in einen Bandkühler der Firma Amandus Kahl Nachf., der auch zur schonenden Nachtrocknung von Pellets mit Warmluft geeignet ist.

Auch der Feuchtigkeitsgehalt spielt bei der Verpressung eine große Rolle. In Wien konnten bei Feuchtigkeitswerten zwischen 18 – 24 Gew.-% die höchsten Durchsatzleistungen mit dem geringsten Energieverbrauch erzielt werden.

Nach jeder Pelletierung sind Kühler installiert, um die heißen und weichen Pellets abzukühlen und den überschüssigen Wasserdampf abzuführen. In der Abbildung 4.24 ist ein Blick in den Bandkühler dargestellt, der auch zur zerstörungsfreien Nachtrocknung von Pellets geeignet ist. Erste orientierende Untersuchungen haben in Wien die Überlegung aufkommen lassen, die teure Trocknung und eine eventuelle Hartpelletierung einzusparen, indem die feuchten Weichpellets in einem Bandkühler mit Kalt- und Warmluft gehärtet und biologisch stabilisiert werden.

5. Übersicht über die verschiedenen Sortiersysteme

Für die Übersicht über die verschiedenen in Europa angebotenen Sortiersysteme wurden 30 Hersteller und Lizenznehmer angeschrieben, von denen 26 geantwortet und Unterlagen zugeschickt haben. Zwei Firmen bieten zur Zeit keine Anlagen mehr an.

Einmal ist dies die BKMI Industrieanlagen GmbH der Deutschen Babcock in München, die in Landskrona, Schweden, 1978 eine Sortieranlage gebaut hat. In Zukunft wird die BKMI sich auf Komponentenlieferung umstellen, wobei man sich auf die Trennung von Kunststoff-Folien und Papier mit einem hohen Reinheitsgrad beschränken wird.

Die zweite Firma ist die PRAVAPAN AG in Brunegg, Schweiz, für die der Erfinder, Raimund Jetzer, mir mitteilte, daß für die gezielten Arbeiten zur Realisierung von kompletten Recyclinganlagen noch ca. 3 Jahre benötigt werden und man dann an die Öffentlichkeit treten kann.

Die nachfolgende Aufstellung der verschiedenen Sortiersysteme zur Herstellung von BRAM kann aufgrund der laufenden Änderungen, Messungen, sowie der Planung, Errichtung und auch Schließung von Anlagen zwangsläufig nicht vollständig sein.

5.1 Bezner-Wertstoff-Sortieranlage

Hersteller: Maschinenfabrik Bezner GmbH
& Co.KG
Postfach 1207
D-7980 Ravensburg

Verfahrensbeschreibung:

Die Wertstoff-Sortieranlage der Maschinenfabrik Bezner ist in Baienfurt in einer Pilotanlage für die "Grüne Tonne" entwickelt worden. Über ein Bunkerband wird das Material dem Stangensizer zugeführt, der bei der Anlage in Achern als Doppeldekker ausgelegt ist. Hier fallen eine Siebrestfraktion, eine Metall- und glasreiche Fraktion sowie Textilien, Pappen und Folien an. Bis auf den Fe-Schrott, Papier und Pappen werden Kunststoffe, Textilien, Glas, ect. händisch aussortiert, unterstützt durch Siebtrommeln und weitere Trennaggregate.

Die Anlage verarbeitet ca. 6 t/h und benötigt ca. 10 Personen zum Betreiben der Anlage. Die Jahreskapazität in Achern beträgt 25.000 t/a.

Materialbilanz:

In der "Grünen Tonne" werden ca. 45 – 50 Gew.-% des Gesamtmülls erfaßt. Bezogen auf den gesamten Hausmüllanfall können folgende Stoffe wiedergewonnen werden (Zahlen aus der Versuchsanlage in Baienfurt):

Textilien	1,3 Gew.–%
Fe–Metall	1,4 Gew.–%
Folien	2,3 Gew.–%
Glas	9,2 Gew.–%
Papier	24,4 Gew.–%
Reststoffe	10,4 Gew.–%
Grüne Tonne	48,9 Gew.–%

Wirtschaftlichkeit:

Anlagekapitalbedarf: (Preise 1984)

Maschinen	2,1 Mio DM
Gebäude	3,6 Mio DM
Container, Fahrzeuge, etc.	3,3 Mio DM
	9,0 Mio DM

Erlöse (Preisbasis Herbst 1984):

Altpapier (Klasse B12)	ca. 180 DM/t
Textilien	ca. 200 DM/t
Fe–Metall	ca. 80 DM/t
Glas	
– weiß	ca. 100 DM/t
– bunt	ca. 60 DM/t

Referenzanlagen:

Ravensburg (Versuchsanlage); Deutschland
Achern, Deutschland
Freiburg i.B., Deutschland

Entwicklungsstand:

Um den guten Versuch der "Grünen Tonne" zum Erfolg zu führen, muß die Anlage noch erheblich umgestaltet und optimiert werden.

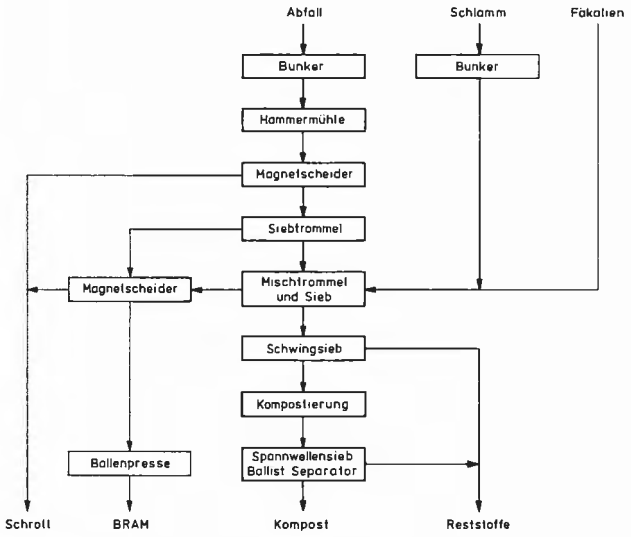
5.2 BIAS

Hersteller: DMT-ApS
(Umbenennung nach Konkurs)
Blokken 61
DK-3460 Birkerod

Verfahrensbeschreibung:

Die Anlage in Borlänge, Schweden, ist für 45 t/h ausgelegt. Die Arbeitszeit beträgt vier Stunden pro Tag und fünf Tage pro Woche. In der Abbildung 5.2.1 ist das Fließschema der Anlage dargestellt. Die Anlage ist seit 1980 in Betrieb und verarbeitete 1982 ca. 4800 t Schlamm mit einer Trockensubstanz von 16 % und 16.500 t Haushalts- und Geschäftsabfälle.

Abb. 5.2.1
Fließschema der Recyclinganlage in Borlänge, Schweden, der Firma BIAS



Materialbilanz:

In einer Untersuchung am 14.3.1983 konnte folgende Materialbilanz aufgestellt werden:

Schrott	1,90 %
BRAM	19,74 %
Reststoffe	7,67 %
Kompostfraktion	70,69 %
Haushaltsabfall	100,00 %
+ Schlamm	16,98 %

Energiebilanz:

Zerkleinerung		
+ Sortierung	: ca.	30 kWh/t
Mischtrommel	: ca.	40 kWh/t
Kompostierungsanlage	: ca.	30 kWh/t
Energieverbrauch	ca.	100 kWh/t

Produkteigenschaften:

Parameter		BRAM	Kompost
1		2	3
Schüttgewicht	kg/m³	40	770
H_u	MJ/kg	17,0	–
H_o	MJ/kg	23,3	–
Ascheschmelzpunkt	Grad C	1140	–
Trockensubstanz	Gew.–%	75,2	55,0
Glührückstand	Gew.–%	8,1	67,6
pH		–	7,8
Zn	mg/kg TS	280	1800
Cu	"	160	500
Co	"	1,0	0,4
Cr	"	280	41
Ni	"	5,4	60
Pb	"	70	120
Cd	"	2,0	5,8
Hg	"	0,24	2,3
Cl–	"	1900	–
Gesamt–S	"	1100	–
P	"	–	4300
K	"	–	160
Mg	"	–	104
N–Kjeld	"	4100	14000
Leitfähigkeit	mS/m	–	120

Wirtschaftlichkeit:

BRAM wird seit 1983 vollständig an ein Fernwärmewerk abgegeben.
Schrott wird an das Stahlwerk Domnarvet seit 1982 verkauft.
Kompost wird zu ca. 80 % kostenlos abgegeben, und der Rest wird als Bodenverbesserungsmittel "Tuna Mull" verkauft.

Referenzanlagen:

Borlänge, Schweden

Entwicklungsstand:

Die Anlage wird sehr gut betrieben und ständig optimiert. Mehrere Forschungsvorhaben auf dem Gebiet der Kompostierung werden zur Zeit durchgeführt.

Probleme gibt es bei der Hammermühle mit großen und leichten Materialien, Kunststoff-Folien und Teppichen. Die Transporteinrichtungen sind volumenmäßig etwas unterdimensioniert.

5.3 BINAB

Hersteller: BINAB
Byggnads & Industrieservice AB
Avdelning INKA
Kretenvägen 13
S-17197 Solna

Verfahrensbeschreibung:

Die Anlage in Eskilstuna wird seit 1981 betrieben und ist für 50 t/h ausgelegt. Die Sortiertechnik stammt von Peabody, England, die für die Zerkleinerung eine Lizenz von Hazemag besitzt. Für die Kompostierung wird ein JCC-Reaktor (Johnson Construction Comp.AB) benutzt. In der Abbildung 5.3.1 ist ein Maschinenstammbaum der Anlage in Eskilstuna dargestellt. Im Jahre 1982 wurden 24400 t Haushaltsabfälle und 3000 – 4000 t Schlamm mit einer Trockensubstanz von ca. 16 % verarbeitet.

Materialbilanz:

In einer Untersuchung am 3.5.1983 konnte folgende Materialbilanz aufgestellt werden:

Schrott	2,50 %
BRAM	50,30 %
Reststoffe	3,00 %
Kompostfraktion	44,20 %
Haushaltsabfall	100,00 %
+ Schlamm	22,93 %

Energiebilanz:

Für 1982 wurden im Durchschnitt 43 kWh/t Abfall verbraucht. Bei der Untersuchung der Anlage wurden 30,9 t Abfall/h und 7,1 t Schlamm/h durchgesetzt, wobei der Verbrauch bei 19,6 kWh/t lag.

Produkteigenschaften:

Parameter 1		BRAM 2	Kompost 3
Schüttgewicht	kg/m³	–	870
H_u	MJ/kg	11,8	–
H_o	MJ/kg	17,8	–
Ascheschmelzpunkt	Grad C	1145	–
Trockensubstanz	Gew.–%	69,5	58,3
Glührückstand	Gew.–%	27,1	63,3
pH		–	7,3
Zn	mg/kg TS	550	1900
Cu	"	4100	620
Co	"	3,6	11
Cr	"	29	110
Ni	"	9,2	65
Pb	"	240	980
Cd	"	2,4	5,0
Hg	"	0,66	2,8
Cl–	mg/kg TS	2300	–
Gesamt S	"	1900	–
P	"	–	13000
K	"	–	3300
Mg	"	–	2800
N–Kjeld	"	5200	18000
Leitfähigkeit	mS/m	–	204

Wirtschaftlichkeit:

Anlagekapital	ca. 30	Mio SKR
Regierungszuschuß	11	Mio SKR
Betriebskosten (1981)	6	Mio SKR
Erlöse:		
BRAM (1982) 7700 t	ca. 1,2	Mio SKR

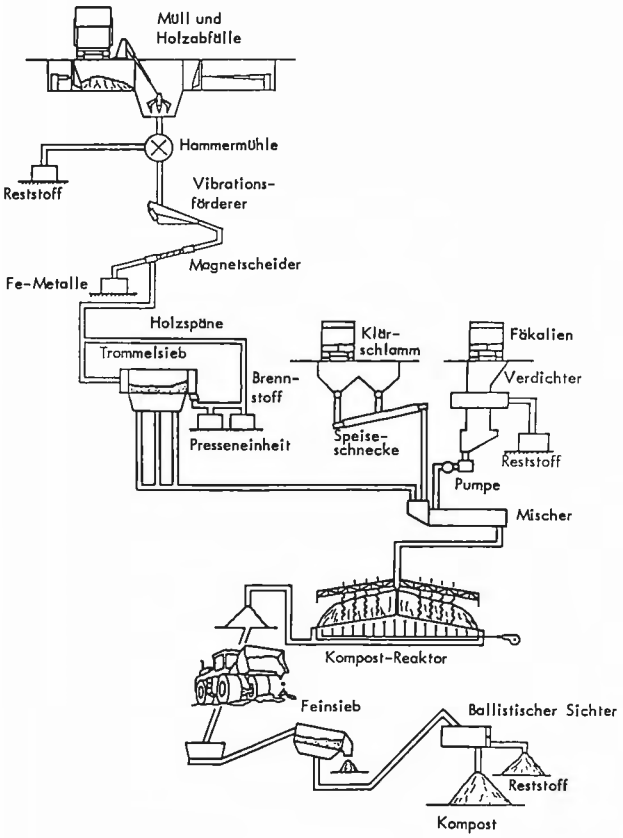
Von 11.350 t erzeugtem BRAM wurden 1982 7700 t an das Kraftwerk in Avesta verkauft.

Es wurden kein Kompost und nur sehr geringe Schrottmengen verkauft.

Referenzanlagen:

Eskilstuna, Schweden

Abb. 5.3.1
Maschinenstammbaum der Recyclinganlage in Eskilstuna, Schweden, der Firma BINAB



Entwicklungsstand:

Der Entwicklungsstand der Anlage ist nicht sehr hoch. Im Aufbereitungsteil muß das Trommelsieb durch andere Lochweiten und Mitnehmer ausgerüstet werden. Der Kompostreaktor stellt eine Fehlkonstruktion dar. Die Sauerstoffversorgung der Kompostbiologie ist nicht gewährleistet, so daß sehr starke Gerüche auftreten.

5.4 Blue Circle Industries

Hersteller: Blue Circle Technical
Blue Circle House
New Road
GB-Gravesend, Kent DA11 CAT

Verfahrensbeschreibung:

Die Anlage der Blue Circle Industries in Westbury besteht seit 1979 und hat bis Juli 1984 ca. 200.000 t/Müll verarbeitet und im Zementofen verbrannt. Der Kohle wurde im Mittel so viel BRAM beigemischt, daß ca. 10 % Kohle und über die gesamte Laufzeit ca. 45.500 t Kohle eingespart wurden.

Zwischen dem primären und sekundären Zerkleinerer ist jetzt ein Schwingsieb zwischengeschaltet, das den mineralischen Anteil im Brennstoff senken soll. Dadurch kann BRAM ca. 20 % der Kohle ersetzen. Für den Einsatz im Drehrohrofen sind ca. 92 – 98 Gew.-% kleiner als 25 mm.

Materialbilanz:

Die Anlage verarbeitet ca. 17 – 20 t/h in einer 8-Stundenschicht pro Tag.

Schrott	7,00 %
BRAM	88,25 %
Reststoffe	4,75 %
Haushaltsabfall	100,00 %

Produkteigenschaften:

Produkteigenschaften von BRAM ohne Zwischensieb:

Feuchtigkeitsgehalt	30	Gew.–%
Asche	30	Gew.–%
Schwefel	0,3	Gew.–%
Chloride	0,2 – 0,4	Gew.–%
H_u	8,79 – 9,63	MJ/kg
H_o	12,98 – 13,82	MJ/kg

Referenzanlagen:

Westbury, Wiltshire, England

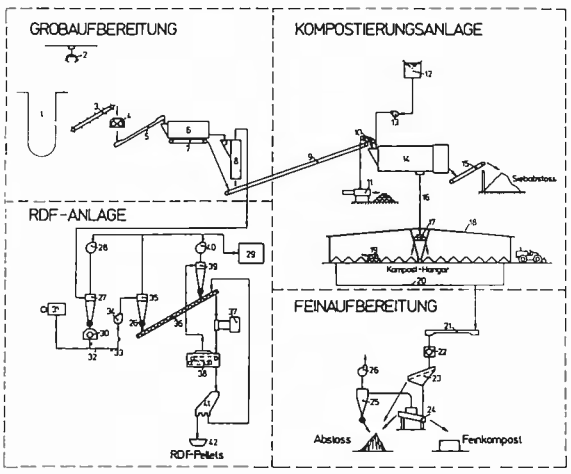
Entwicklungsstand:

Blue Circle Industries experimentiert seit 1971 mit der BRAM-Herstellung zum Einsatz bei Zementöfen und betreibt Großanlagen seit 1976. Diese Methode erscheint zuverlässig und ausgereift, ist aber nur bei der nassen Zementherstellung möglich.

5.5 Bühler-Miag

Hersteller: Bühler-Miag GmbH
Postfach 3369
Ernst-Amme-Str. 19
D-3300 Braunschweig

Abb. 5.5.1
Schematischer Maschinenstammbaum der vier Module für unterschiedliche Ausbaustufen einer Recyclinganlage von der Firma Bühler-Miag



Legende: 1- 8 Grobaufbereitung; 9-20 Kompostierung; 21-26 Feinaufbereitung Kompost, 27-42 RDF-Anlage

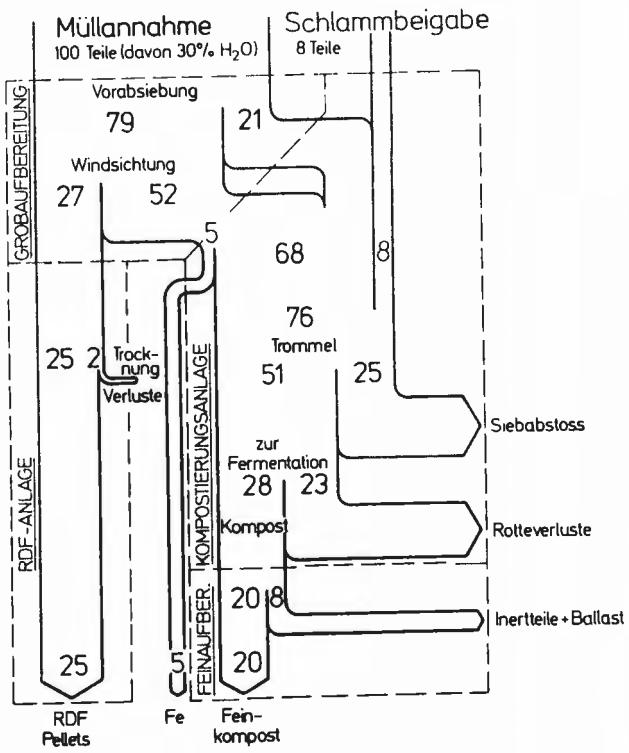
Verfahrensbeschreibung:

In der Abbildung 5.5.1 ist der schematische Maschinenstammbaum der Recyclinganlage von der Firma Bühler-Miag dargestellt. Die Anlage ist in vier Module eingeteilt, so daß je nach Anforderungen eine Grobaufbereitung als vorgeschaltete Aufbereitung vor einer BRAM- und/oder Kompostanlage, Deponie und Verbrennungsanlage möglich ist.

Materialbilanz: ▶

Auf der Basis der Anlage in Eastbourne konnte folgende Materialbilanz aufgestellt werden:

Abb. 5.5.2
Materialbilanz auf der Basis der Testläufe an der Anlage in Eastbourne



Energiebilanz:

Grobaufbereitung	:	10,0 kWh/t	Input
BRAM-Herstellung (incl.Trocknung)	:	124,4 kWh/t	"
Kompostierung	:	13,7 kWh/t	"
Energieverbrauch	:	148,1 kWh/t	Input

Produkteigenschaften:

Die Daten stammen aus der Anlage in Falkenberg (Spalte 2/4) und Stenungsund (Spalte 3/5).

Parameter		BRAM		Kompost	
1		2	3	4	5
Schüttgewicht	kg/m³	50	60	420	400
H_u	MJ/kg	13,6	11,8	–	–
H_o	MJ/kg	19,8	18,1	–	–
Ascheschmelpunkt	Grad C	1220	1170	–	–
Trockensubstanz	Gew.-%	71,8	71,7	44,5	78,5
Glührückstand	Gew.-%	11,1	14,5	65,3	57,4
pH		–	–	7,9	8,4
Zn	mg/kg TS	170	420	970	2100
Cu	"	120	79	200	350
Co	"	1,5	3,0	64	9,4
Cr	"	7,6	47	40	33
Ni	"	5,9	13	27	45
Pb	"	37	940	530	1700
Cd	"	0,9	0,74	2,4	4,0
Hg	"	1,5	0,15	2,0	2,6
Cl-	"	2300	2500	–	–
Gesamt S	"	2400	3000	–	–
P	"	–	–	3500	3800
K	"	–	–	3300	7900
Mg	"	–	–	200	2700
N-Kjeld	"	9300	3400	16000	15000
Leitfähgkeit	mS/m	–	–	51	370

Referenzanlagen:

Eastbourne, England
Falkenberg, Schweden
Stenungsund, Schweden
Mons, Belgien
Habay-la-Neuve, Belgien
Tenneville, Belgien

Entwicklungsstand:

Die Bühler-Miag AG hatte die Gelegenheit, sehr früh mit einer Anlage in Eastbourne 1979 in Betrieb zu gehen. Diese Anlage hatte unter ihrem privaten Betreiber große technische und ökonomische Schwierigkeiten, so daß nach ihrem Konkurs der County Council von East Sussex die Anlage übernahm. So konnte die Firma Bühler-Miag frühzeitig aus ihren Fehlern lernen und bietet daher ein solides, ausgereiftes System an.

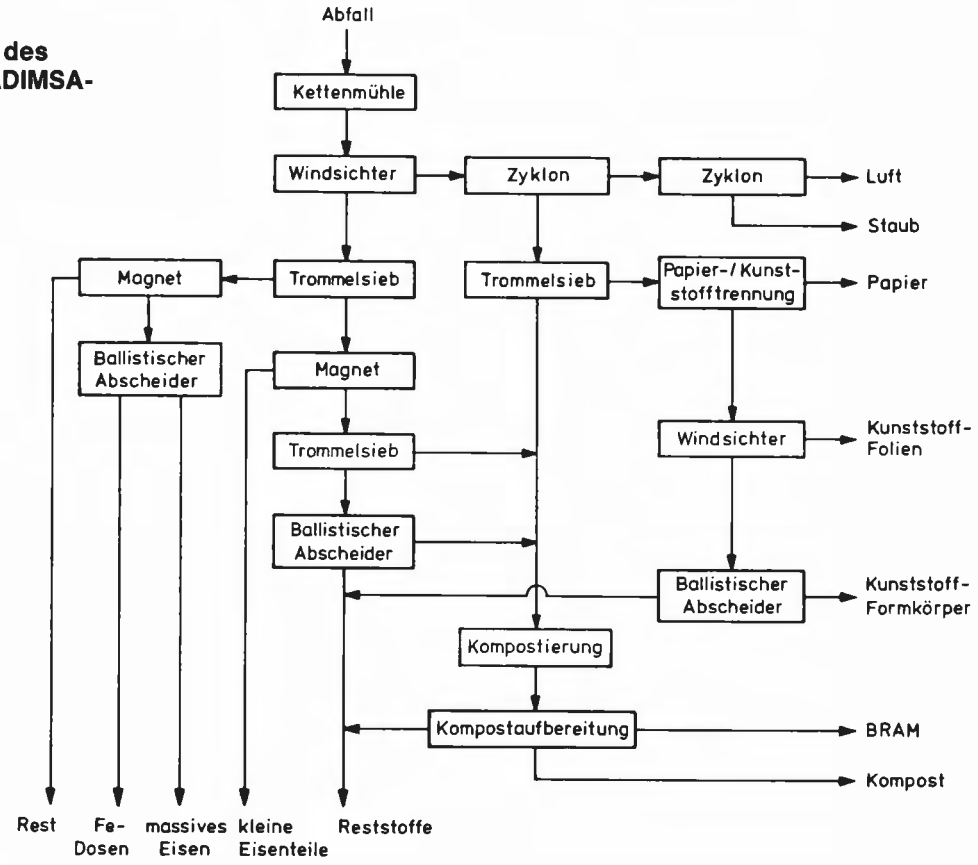
5.6 ENADIMSA

Hersteller: ENADIMSA
Empresa Nacional Adaro
de Investigaciones Mineras, S.A.
Serrano, 116
E-28006 Madrid

Verfahrensbeschreibung:

Das Verfahren der ENADIMSA ist in einem Verfahrensstammbaum in der Abbildung 5.6.1 dargestellt. Die normale Anlage ist für 20 t/h bzw. 44.000 t/a ausgelegt. Entsprechend der mediterranen Müllzusammensetzung können ca. 75 Vol.-% zurückgewonnen werden. Die Kunststofftrennung ist sehr aufwendig entwickelt worden und trennt Kunststoff-Formkörper von -Folien. Eine weitergehende Trennung in farbige und farblose Kunststoffe ist händisch möglich. Die Kunststoff-Folien können über eine Wäsche gereinigt und anschließend agglomeriert werden.

Abb. 5.6.1
Verfahrensstammbaum des weiterentwickelten ENADIMSA-Verfahrens, Stand 1984



Materialbilanz:

Kompost	:	22,12 Gew.-%	(27 4 Feuchtigkeit)
Papier, Pappe	:	17,38 "	(50 % Feuchtigkeit)
BRAM	:	8,00 "	
Fe-Metall (Dosen)	:	2,04 "	
Fe-Metall	:	0,20 "	
Kunststoff-Folien	:	1,20 "	
Kunststoff-Formkörper	:	0,65 "	
Reststoffe	:	33,48 "	
Wasserverlust	:	14,93 "	
Haushaltsabfall	:	100,00 Gew.-%	

Energiebilanz:
Für die Aufbereitung und Sortierung des Abfalls werden bei optimaler Fahrweise der Anlage durchschnittlich 17 kWh/t Müll benötigt.

Produkteigenschaften:

Kunststoff–Formkörper:	Qualität	– 97,5 Gew.–% Polyäthylen
	Feuchtigkeit	– < 5 Gew.–%
	Korngröße	– < 30 mm
	Dichte	– 250 kg/m³
Kunststoff–Folien :	Qualität	– 80 Gew.–% Polyäthylen
	Feuchtigkeit	– < 10 Gew.–%
	Korngröße	– < 500 mm
	Dichte im Ballen	– 300 kg/m³
Kompost :	Korngröße	– < 10 mm
	Dichte	– 600 kg/m³
	C/N–Verhältnis	– 12 – 15
	Feuchte	– < 25 – 27 Gew.–%
	organ. Anteil	– 55 – 60 Gew.–%
Fe–Metall :	Qualität	– 99 Gew.–% Konservendosen
	Korngröße	– < 300 mm
	Dichte	– 250 kg/m³
Fe–Metall :	Qualität	– 80 Gew.–% Kronkorken – 15 Gew.–% Konservendosen – 5 Gew.–% massive Eisenteile
	Korngröße	– < 70 mm
	Dichte	– 500 kg/m³
Fe–Metall :	Qualität	– 90 Gew.–% massive Eisenteile
	Korngröße	– < 500 mm
	Dichte	– 400 – 500 kg/m³
Papier, Pappe :	ca. 50 % Feuchtigkeit Diese Fraktion ist in Madrid nicht für die Papierwiedergewinnung, sondern besser für die Verbrennung oder Kompostierung geeignet.	
BRAM :	Qualität	– 80 Gew.–% Papier, Pappe
	Korngröße	– 7 – 25 mm
	Heizwert	– 15,99 MJ/kg
	Feuchtigkeit	– 15 – 17 Gew.–%

Referenzanlagen:

Castellon, Spanien
Valdemingomez, Spanien
Tarragona, Spanien
Tournan-en-Brie (SOCEA), Frankreich
Uppsala, Schweden

Entwicklungsstand:

Seit 1973 sind umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit Unterstützung von spanischen und amerikanischen Geldern vorgenommen worden und haben zu umfangreichen Erfahrungen geführt. Dabei wurden drei besondere Aggregate entwickelt, und zwar einsatzreif gebracht: die Kettenmühle, ein Windsichter ausgebildet als Sichttunnel, und die Papier-/Kunststofftrennung, die durch ein Trommelsieb mit einer schnelldrehenden Messerwelle durchgeführt wird.

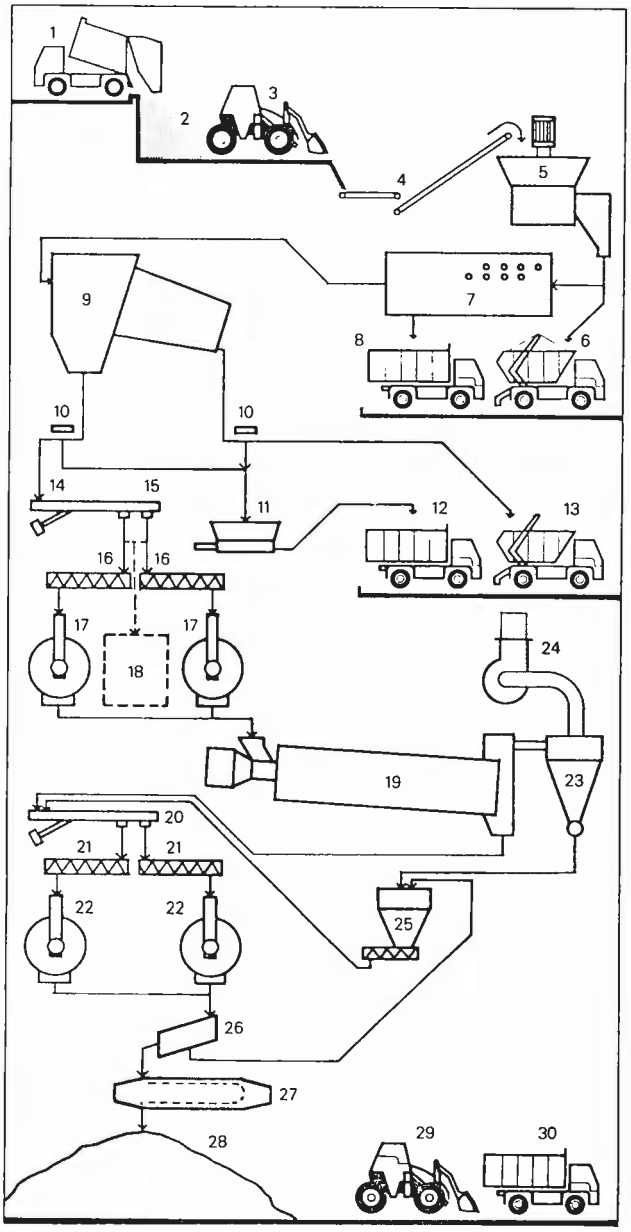
5.7 3E/Berlin Consult (Tollemache)

Anbieter: 3E-Engineering
Friedrichstr. 1
D-8000 München 40

BC-Berlin Consult
Ernst-Reuter-Platz 10
D-1000 Berlin 10

Hersteller: Tollemache Engineering Ltd.
UK-Misterton, Doncaster
S.Yorks. DN10 4DN

Abb. 5.7.1
Schematischer Maschinenstammbaum der Recyclinganlage der Firma Tollemache in Byker, England



1. Überdachter Wareneingang
2. Eingangslager
3. Schaufellader
4. Plattenbänder
5. Zerkleinerungsanlage
6. Notumladestation
7. Rotationssieb
8. Feinfraktion
9. Windsichter
10. Überbandmagnetabscheider
11. Automatische Metallballenpresse
12. Überdachter Warenausg. Fe-Metal
13. Schwerfraktion
14. Leichtfraktion
15. Verteilerband
16. Schneckenförderer
17. Würfelpressen
18. Weiterseparierung
19. Rotationstrockner
20. Verteilerband
21. Schneckenförderer
22. Pelletpressen
23. Zyklon
24. Abluftventilator
25. Pelletflockenaufgabetrichter
26. Restflockensieb
27. Pelletkühler
28. Pelletlager
29. Schaufellader
30. Überdachter Warenausg. Brennsto

Verfahrensbeschreibung:

In Zusammenarbeit mit dem Warren Spring Laboratory ab 1974 und einer ersten Versuchsanlage in Chichester ab 1979 wurden umfangreiche Untersuchungen vorgenommen und in der Anlage in Byker mit einer Auslegung von 30 t/h ab 1980/81 angewendet. In der Abbildung 5.7.1 ist der Maschinenstammbaum der Byker-Anlage in Newcastle zur Herstellung vn BRAM dargestellt. Der Brennstoff wird in einem naheliegenden Kohlekraftwerk eingesetzt.

Energiebilanz:

Mittelwert aus den Untersuchungen vom 13.-17. September 1982 in Byker/England.

	kWh/t Input	kW/h
Erstzerkleinerung	13,83	313,5
Rotationswindsichter	11,25	255,0
Zweitzerkleinerung	8,45	191,5
Förderung, Magnete etc.	4,96	112,5
Vorverdichtung	3,93	89,0
Nachverdichtung	8,16	185,0
PLM-Separator	2,21	50,0
Entstaubung	16,06	364,0
Stromverbrauch	68,85	1560,5
Trocknungsenergie (Gas)	35,09	1591,3

Pro Tonne Pellets müssen 299 kWh(elek) und 157,2 kWh(therm) aufgewendet werden.

Produkteigenschaften:

BRAM:		Mittelwert	
		Test 1	Test 2
Feuchte	Gew.-%	8,5	7,8
Asche	Gew.-%	16,4	19,2
H_o	MJ/kg	18,6	18,6

BRAM:		Standardabweichung	
		Test 1	Test 2
Feuchte	Gew.-%	1,5	0,7
Asche	Gew.-%	0,6	1,3
H_o	MJ/kg	0,6	0,6

Wirtschaftlichkeit (Preisbasis 1983):

Anlagekapitalbedarf:	
Maschinen (60 t/h)	34,3 Mio DM
Bau	25,7 Mio DM
Betriebskosten:	33,50 DM/t

Referenzanlagen:

Chichester (Versuchsanlage), England
Byker-Newcastle, England
Grimsby, England
Birmingham, England
Manchester, England

Entwicklungsstand:

Die Anlage in Byker ist durch das Warren Spring Laboratory sehr genau untersucht worden und wird laufend optimiert. Dieses Verfahren ist sehr weit entwickelt und kann als eine sichere und zuverlässige Entsorgungsalternative angesehen werden.

5.8 ESDEX

Hersteller: ESDEX V.O.F. (vormals ESMIL)
Postbus 7811
NL-1008 AA Amsterdam

Verfahrensbeschreibung:

Die Erfahrungen der Firma ESDEX basieren auf den Untersuchungen und den teilweise gleichen Mitarbeiten der T.N.O. und der Firma ESMIL, die seit 1974 in Haarlem umfangreiche Untersuchungen durchgeführt haben. Das Hauptmerkmal der Anlage sind die vielen Windsichter, wie sie auch in Abbildung 5.8.1 zu sehen sind. Es werden in der Anlage in Zoetermeer ca. 65.000 t/a, davon 20-26 Gew.-% Geschäfts- und Sperrmüll, verarbeitet.

Abb. 5.8.1
Blick auf einen Teil der Sortieranlage der Firma ESDEX in Zoetermeer, Holland

Materialbilanz:

Kompost (fein)	26,7	Gew.-%
Kompost (grob)	12,4	"
Schüttgut	7,2	"
Fe-Schrott	2,4	"
Dosenschrott	1,3	"
Kunststoff-Regranulat	0,6	"
BRAM	42,9	"
Deponiertes Haushaltsabfall	6,5	"
	100,0	Gew.-%

Produkteigenschaften:

Kompost (mg/kg TS):	fein	grob
Zn	122	141
Pb	105	68
Cr	48,1	13,8
Cu	34,1	40,5
Cd	0,41	0,55
Ni	20,2	5,6
Hg	–	–
As	–	–

Kunststoffprodukt:		
Feuchtigkeit	16,3	Gew.-%
Polyolefine (LDPE,HDPE,PP)	92,5	Gew.-% TS
Aluminium	1,0	" "
Polystyren	1,3	" "
Hartplastik	0,2	" "
Textilien	1,3	" "
Papier, Pappe	2,0	" "
div. Plastikfolien	2,0	" "
Vegetabilien	1,0	" "

BRAM:		
Feuchtigkeit	32	Gew.-%
Asche	15	Gew.-%

Referenzanlagen:

Haarlem (Versuchsanlage), Holland
Zoetermeer, Holland
Lüttich, Belgien
Wien, Österreich (Konkurs)

Entwicklungsstand:

Aus dem Mißerfolg der Recyclinganlage in Wien, bei der keine technischen und wirtschaftlichen Forderungen von der Anlage erfüllt werden konnten, hat ESDEX sehr viel Erfahrung schöpfen können. Ob entscheidene Veränderungen an den neuen Anlagen vorgenommen worden sind, muß sich allerdings erst erweisen.

5.9 GMP

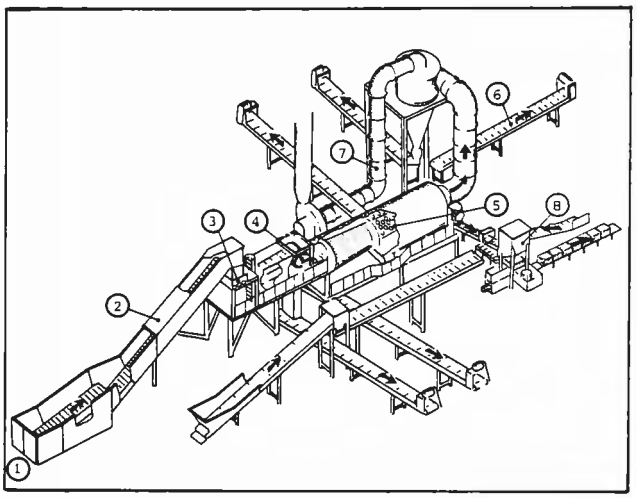
Hersteller: GMP-Genvinding A/S
Stalskibsvaerft
DK-Odense

Verfahrensbeschreibung:

Unter dem Projektnamen "Fyn 80" wurde 1979 von der Maschinenfabrik A/S Marius Pederson und der Papierfabrik Grena A/S die Firma GMP gegründet, um mit der Technologie von Sorain-Cecchini eine Recyclinganlage in Odense aufzubauen. Die Anlage, dargestellt in der Abbildung 5.9.1, sollte ursprünglich 25 t/h durchsetzen. Da von den englischen und amerikanischen Planungs- und Beratungsfirmen weder Untersuchungen des zu verarbeitenden Abfalls noch über die Technologie durchgeführt worden waren, scheiterte die Anlage völlig, und die Beratungsfirmen gingen in Konkurs. Die Anlage erreichte in der Betriebszeit maximal 4 t/h. Nach umfangreichen Untersuchungen vom Jydsk Technologisk Institut und mit neuem Geld vom

Dänischen Umweltamt konnte die Anlage entscheidend verbessert werden. Sie ist jetzt in Funktion und verarbeitet ca. 15 t/h.

Abb. 5.9.1
Schematische Darstellung des Maschinenstammbaumes der Sortieranlage in Odense von der Firma GMP



1. Vorsortierung
2. Beschickungsband
3. Zerkleinerer
4. Magnetsieb
5. Trommelsieb
6. Ballistischer Separator
7. Absaugung der Leichtfraktion
8. Ballenpresse

Materialbilanz:

Papier, Pappe	17,3	Gew.–%
Folien	1,7	"
Fe–Metall	0,4	"
BRAM	51,6	"
Reststoffe	29,0	"
Haushaltsabfall	100,0	Gew.–%

Wirtschaftlichkeit:

Kapitalbedarf (1980):
Maschinenteil : ca. 19,0 Mio DKR

Betriebskosten (1. Quartal 1983):

Deponie	75.000 DKR
Löhne	246.000 DKR
Reparatur,Wartung	260.000 DKR
Energie	85.000 DKR
Geschäftsführung	350.000 DKR
Summe	1.016.000 DKR

Erlöse (1. Quartal 1983):

Papier,Pappe	370 DKR/t
BRAM	150 DKR/t

Entwicklungsstand:

Die Anlage ist mit großen Mühen und Anstrengungen technisch verbessert worden. Ebenfalls wurde der anfallende Haus- und Gewerbemüll Fünens sorgfältig untersucht und die Einsammlung auf die Anlage abgestimmt. Obwohl immer noch Verbesserungen möglich sind, ist die Sanierung der Anlage erstaunlich gut verlaufen.

5.10 GUA-Verfahren

Anbieter: GUA-Gesellschaft für umweltfreundliche Abfallbehandlung GmbH
Walfischgasse 5
A-1010 Wien

Verfahrensbeschreibung:

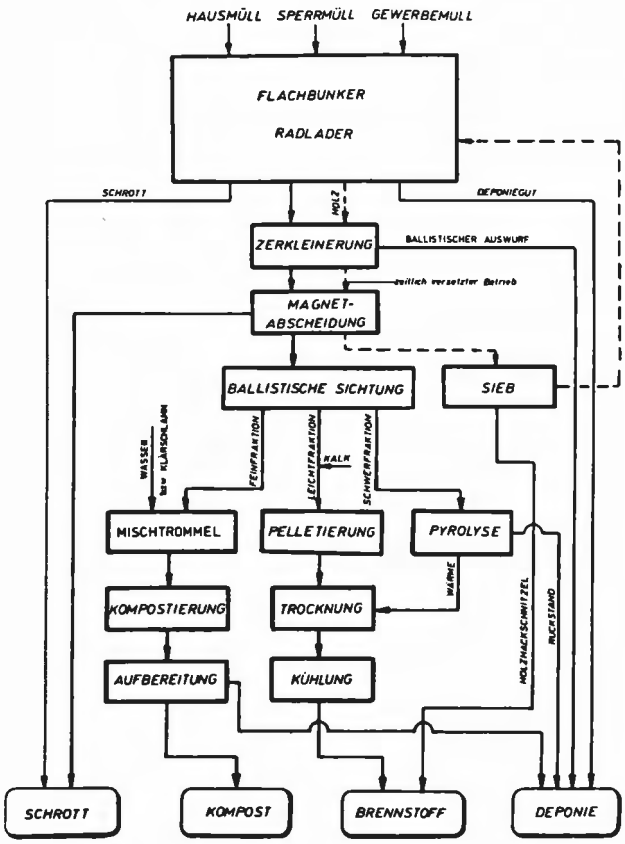
Seit 1982 ist diese Gesellschaft mit umfangreichen Untersuchungen und Planungen – zuerst bei der Sanierung der Recyclinganlage in Wien – für einfache Sortiersysteme mit kompletter Verwertung der Produkte und mit der Gesamtfinanzierung der Sortieranlagen auf den Markt getreten. In der Abbildung 5.10.1 wird die geplante Anlage in Krems mit einem Durchsatz von 40.000 t/a dargestellt. Der Brennstoff stellt das Hauptprodukt dar, das in dezentralen Einheiten bei Großabnehmern für die Dampferzeugung eingesetzt wird. Die Betriebsfüh-

Produkteigenschaften:

	Zusammensetzung	Produkte Gew.–%		
		Papier	Kunststoff	BRAM
	1	2	3	4
1	Papier, Pappe	88	40	65
2	Kunststoff–Folien	2	59	4
3	Kunststoff–Formkörper	2	–	1
4	Brennbares	7	1	30
5	Anorganisches	1	–	–
6	Summe	100	100	100

rung der Recyclinganlage und der Verbrennungseinheiten werden von der GUA durchgeführt.

Abb. 5.10.1
Blockschaltbild der geplanten Anlage in Krems, Österreich, von der GUA, Wien



Produkteigenschaften:

BRAM:

Feuchte	:	12 – 15 Gew.–%
Asche	:	12 – 14 Gew.–%
H_o	:	18 – 20 MJ/kg
H_u	:	14 – 16 MJ/kg

Kompostqualität:
Entsprechend der ÖNORM S 2022

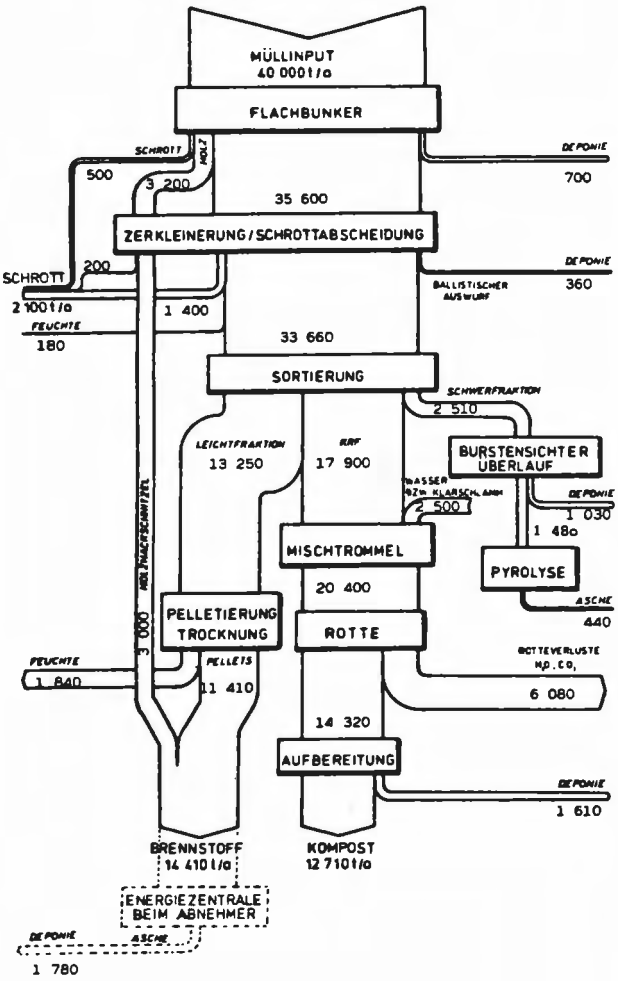
Fe–Schrott:
Sorte 5 der offiziellen Schrottpreisliste

Entwicklungsstand:

Die Anlage in Krems ist in der Planungsphase, so daß erst die Realisierung für weitere Aussagen abgewartet werden muß. Der Ansatz der Problemlösung stellt sich aber als richtig und wegweisend dar. Die Konzeption ist flexibel für weitere Entwicklungen wie die "Grüne Tonne", neue marktgängige Produkte wie Papier, Pappe, Kunststoffe, Zuschlagstoff für die Ziegelherstellung etc.

Materialbilanz:

Abb. 5.10.2
Das Sankey-Diagramm stellt die Mengenbilanz der Anlage in Krems dar



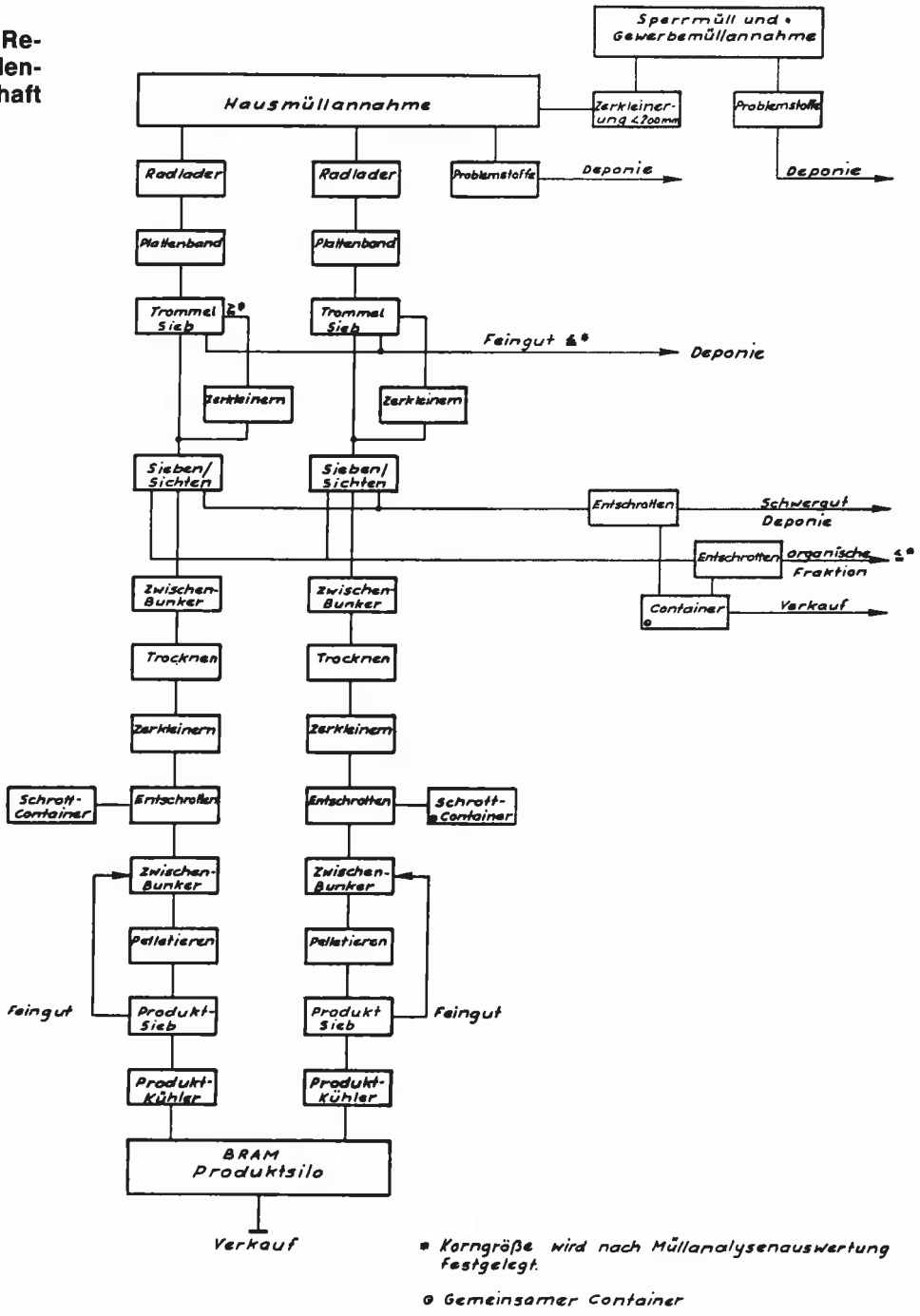
5.11 G.U.T.-Verfahren

Anbieter: G.U.T.
Gesellschaft für umwelttechnische Planung + Beratung mbH
Lilienstraße 19
D-2000 Hamburg 1

Verfahrensbeschreibung:

Die G.U.T. beschäftigt sich seit 1976 mit der Herstellung von BRAM und war lange die deutsche Vertretung für CEA (Eco-Fuel II). Aus den umfangreichen Erfahrungen mit der Abfallaufbereitung wurde das in der Abbildung 5.11.1 dargestellte Verfahren für die Herstellung von BRAM, Rohkompost, Fe-Schrott und je nach wirtschaftlichen Gegebenheiten von Papier, Pappe, Folien, Textilien etc. entwickelt. Die geplante Anlage in Heidenheim soll ca. 130.000 t/a verarbeiten.

Abb. 5.11.1
Blockschaltbild für die Recyclinganlage in Heidenheim von der Gesellschaft G.U.T.



Materialbilanz:

BRAM	ca.	45,0	Gew.–%
Rohkompost	ca.	11,5	"
Fe–Schrott	ca.	5,0	"
Deponie	ca.	18,5	"
Wasserverdampfung	ca.	20,0	"
Haushaltsabfall		100,0	Gew.–%

Energiebilanz:

Anschlußleistung	ca. 3,7 MW
Prozeßenergie-bereitstellung	ca. 6,6 Gcal

Entwicklungsstand:

Die Anlage in Heidenheim ist in der Planungsphase und es muß erst die Realisierung abgewartet werden, um weitere Aussagen zu fällen. Das Anlagenkonzept ist richtig und für einen weiten Anwendungsbereich variabel ausgelegt. Maßnahmen wie die "Grüne Tonne", die Sperr- und Gewerbemüllaufbereitung sind in dem Konzept bereits antizipiert. Günstig ist die Energiesituation zu bewerten, da für die thermische Energie das Deponiegas sinnvoll zur Verfügung stehen kann.

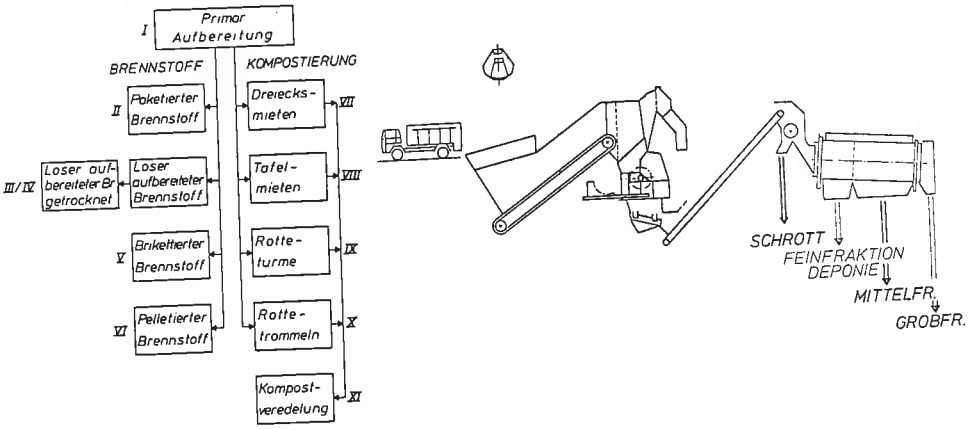


Abb. 5.12.1
Module für die bedarfgerechte Konfektionierung von Kompost und BRAM nach der "Primär Aufbereitung" von Müll nach dem Verfahren der Firma Hazemag

5.12 Hazemag

Hersteller: Hazemag
Dr. E. Andreas GmbH & Co.
Rösnerstr. 6/8
D-4400 Münster

Verfahrensbeschreibung:

Die Firma Hazemag beschäftigt sich seit einigen Jahrzehnten mit der Aufbereitung von Müll und anderen Abfallstoffen. So wurden Anlagen zur Altholz-, Altpapier, Akkuschrott-, Schlacken- und Zementaufbereitung in aller Welt installiert. Allein 10 Altglasaufbereitungsanlagen, 30 Sperrmüllzerkleinerer vor der Müllverbrennung, unzählige Anlagenkomponenten für Kompostierungsanlagen und sieben komplette Kompostierungsanlagen wurden in Europa errichtet. Die Hazemag beschäftigt sich seit einigen Jahren mit der Herstellung und Verwertung von BRAM. Nach der "Primär Aufbereitung", die aus der Zerkleinerung, Magnetscheidung und Siebung besteht, lassen sich unterschiedliche Konfektionierungsschritte modular nachschalten, wie die Abb. 5.12.1 aufzeigt. Aus der Siebtrommel fallen Feinanteile für die Deponie, ein mittleres Korn als Kompostrohfraktion und das Überkorn als BRAM an.

Materialbilanz:

2 x 30 t/h		Primär Aufbereitung	Karlshamm, Schweden
BRAM	45 Gew.-%	47.200 t/a	41,3 Gew.-%
Fe-Metall	5 Gew.-%	5.300 t/a	1,7 Gew.-%
Kompostroh-fraktion	50 Gew.-%	52.500 t/a	57,0 Gew.-%
Hausmüll	100 Gew.-%	105.000 t/a	100,0 Gew.-%

Energiebilanz:

	Primär Aufbereitung	Gesamtanlage Karlshamm
Stromanschluß:	1.400 kW	
spez. Stromverbrauch:	16,2 kWh/t	ca. 40 kWh/t

Produkteigenschaften:

Anlage Karlshamm, Schweden

	Parameter		BRAM	Kompost
	1		2	3
1	Schüttgewicht	kg/m³	30	520
2	Rohfeuchte	Gew.-%	39,2	19,6
3	Aschegehalt	Gew.-%	11,7	60,5

Anlage Karlshamm, Schweden

	Parameter		BRAM	Kompost
	1		2	3
4	H_u	MJ/kg	9,0	–
5	H_o	MJ/kg	16,9	–
6	Ascheschmelzpunkt	Grad C	1190	–
7	pH		–	7,9
8	Zn	mg/kg TS	360,0	1400,0
9	Cu	" "	88,0	500,0
10	Co	" "	2,4	43,0
11	Cr	" "	14,0	47,0
12	Ni	mg/kg TS	6,1	58,0
13	Pb	" "	180,0	380,0
14	Cd	" "	3,5	5,3
15	Hg	" "	0,6	6,6
16	Cl–	Gew.–%	0,30	–
17	S gesamt	"	0,15	–
18	N–Kjeld	"	0,25	1,30
19	P	"	–	0,59
20	K	"	–	0,43
21	Mg	"	–	0,2
22	Leitfähigkeit	mS/m	–	210

Wirtschaftlichkeit (Preisbasis 1983):
Primär Aufbereitung mit paketiertem Brennstoff II

Anlagekapitalbedarf:

Maschinen	8,7 Mio DM
Montage, Fracht etc.	1,9 Mio DM
E–Teil	1,8 Mio DM
Bauteil	4,5 Mio DM
Summe	16,9 Mio DM

Betriebskosten:

Personalkosten	605.000 DM/a
Stromkosten	455.000 DM/a
RWU–Maschinen	650.000 DM/a
Betriebsmittel	110.000 DM/a
RWU–Bau,Versicherungen	105.000 DM/a
Summe	1.925.000 DM/a

Spezifische Betriebskosten
18,40 DM/t Müll

Kapitalabhängige Kosten
20 Jahre, 8 % Zinsen 1.550.000 DM/a

Spezifische kaptialabhängige Kosten
14,80 DM/t Müll

Spezifische Gesamtkosten
33,20 DM/t Müll
73,70 DM/t BRAM

Referenzanlagen:

Karlshamm, Schweden
Lemgo, Deutschland

Entwicklungsstand:

Die Hazemag hat im Laufe der Zeit sehr viel Erfahrung auf dem Sektor der Müllverarbeitung gesammelt. Die gebauten Kompostanlagen sind potentielle Anlagen zur BRAM-Herstellung. In Versuchen wird zur Zeit die preiswürdigste Möglichkeit der BRAM-Produktion erprobt. Der Abfallbeseitigungspflichtige geht bei der Wahl einer Hazemag-Aufbereitungsanlage aufgrund der Erfahrungen nur das übliche Betreiberrisiko ein.

5.13 Horstmann Fördertechnik

Hersteller: Horstmann Fördertechnik
Postfach 100 408
D-497 Bad Oeynhausen 7 – Lohe

Verfahrensbeschreibung:
Die Horstmann Fördertechnik ist seit ca. 10 Jahren auf dem Sektor der schwierig zu transportierenden Güter wie Müll, Altpapier, Textilien, Kunststoffe etc. tätig. Für die Rohstoffwiedergewinnung wurden von Horstmann Handlesestationen und Bunkerbänder entwickelt, die in Abbildung 5.13.1 für die Hausmüllsortierung schematisch dargestellt sind.

Energiebilanz:
Als Anschlußleistung für eine Sortierstation gemäß Abb. 5.13.1 muß mit ca. 85 kW gerechnet werden.

Wirtschaftlichkeit:
Für die in Abbildung 5.13.1 dargestellte Sortierstation muß auf der Preisbasis 1983 ein Kapitalbedarf von ca. 920.000 DM angenommen werden.

Referenzanlagen:
Eine lange Liste von Altpapier- und Glassortieranlagen.
Für Müll: Neuss, Deutschland

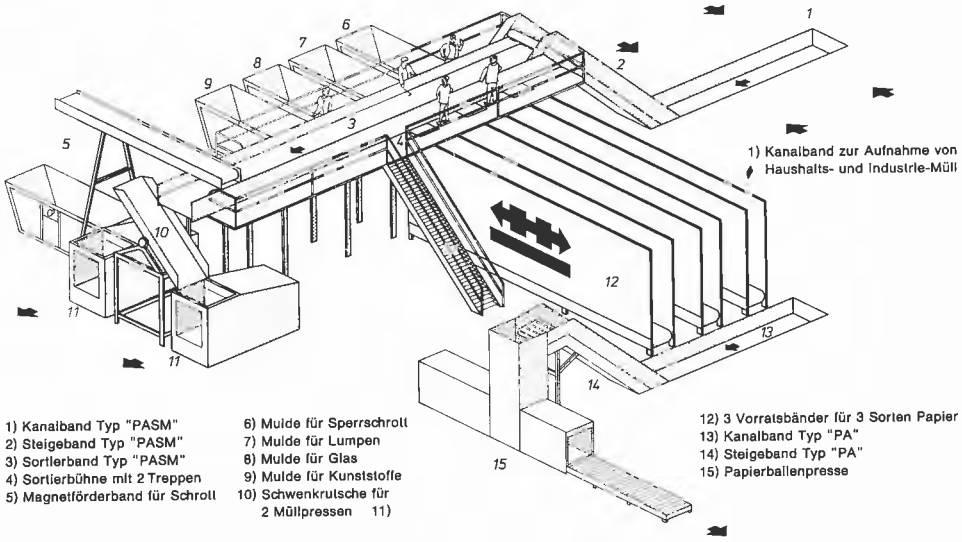


Abb. 5.13.1
Schematische Darstellung der Handlesestation und Bunkerbänder für die Hausmüllsortierung der Horstmann Fördertechnik

Entwicklungsstand:
Die Anlagen von Horstmann haben einen hohen Entwicklungsstand und eignen sich als vorgeschaltete Handsortieranlagen vor der Kompostierung und der mechanischen Sortierung. Die Horstmann-Anlagen sind mit leichten Modifikationen für die Aufbereitung der "Grünen Tonne" geeignet.

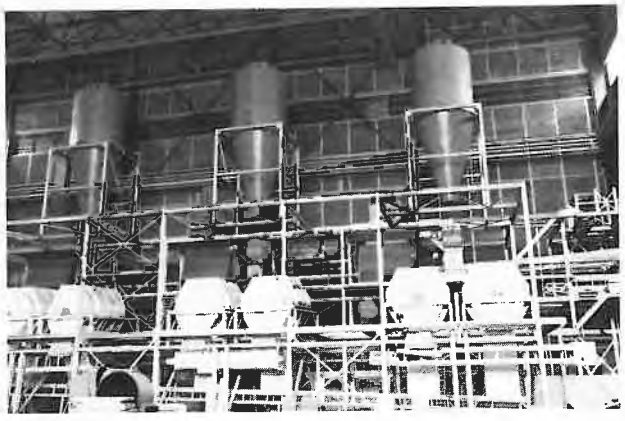
5.14 INTRADEL

Anbieter: INTRADEL
Port de Herstal, Pre Wigi
B-4400 Herstal

Verfahrensbeschreibung:

INTRADEL baut eine Sortieranlage in Lüttich, die weitgehend auf der Technologie von ESDEX basiert. Die Anlage wird drei Linien haben, wie auch aus Abbildung 5.14.1 deutlich wird. Die Anlage soll 1985 in Betrieb gehen und ca. 200.000 t/a in 2 Schichten verarbeiten. Für die Trocknung der leichten Fraktion wird in einem senkrecht angeordneten Ofen ein Teil des besonders feinen BRAMs verbrannt. Mit der Aufbereitung des Hausmülls hat INTRADEL eine getrennte Sammlung von Kunststoffen organisiert, die ebenfalls aufbereitet werden (Kapazität der Kunststoffaufbereitung ca. 3000 t/a).

Abb. 5.14.1
Darstellung der Absiebung der Kompostfraktion nach dem Windsichter der drei Linien der Anlage von INTRADEL in Lüttich



Materialbilanz:

Fe-Metall	:	ca. 4	Gew.-%
BRAM	:	ca. 30	Gew.-%
Kunststoff-Folien	:	ca. 1,7	Gew.-%
Kompostrohfraktion	:	ca. 30	Gew.-%

Energiebilanz:

Für die Kunststoffaufbereitung werden 1,1 kWh/kg Kunststoff benötigt.

Produkteigenschaften:

BRAM: Heizwert 15,5 MJ/kg

Wirtschaftlichkeit:

Anlagekapitalbedarf (Preisbasis 1984) 1,3 Milliarden BF
BRAM-Verkaufspreis ab Lüttich 50 - 65 DM/t

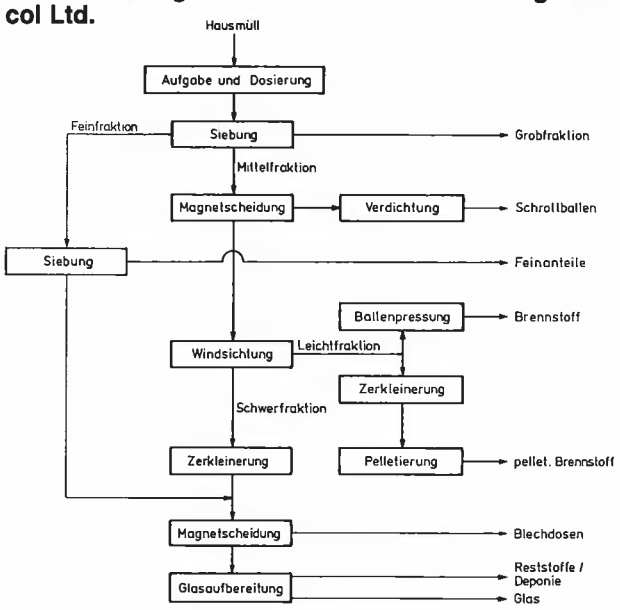
Entwicklungsstand:

INTRADEL hat den Vorläufer SBM abgelöst. Es muß sich aber erst noch in der Zukunft erweisen, ob die Anlage auf die Bedürfnisse in Lüttich richtig abgestimmt worden ist.

5.15 Motherwell Bridge

Hersteller: Motherwell Bridge Tacol Ltd.
Green Dragon House
64/70 High Street
GB-Croyden CRO 1NA

Abb. 5.15.1
Verfahrensstammbaum der Recyclinganlage in Doncaster/England von der Motherwell Bridge Tacol Ltd.



Verfahrensbeschreibung:

Motherwell Bridge hat die Anlage in Doncaster zusammen mit dem Warren Spring Laboratory erbaut. Sie wurde von der englischen Regierung unterstützt, um ein Sortierkonzept ohne eine Erstzerkleinerung zu erproben. Seit 1980 ist die Anlage in Doncaster, England, mit einer Kapazität von ca. 10 t/h mit einem maximalen Wochendurchsatz von 1250 t fertiggestellt. Der Verfahrensstammbaum der Anlage ist in der Abbildung 5.15.1 dargestellt. Als Besonderheit ist hier eine mechanische Glasaufbereitung vorgesehen.

Materialbilanz (geplant):

Fe-Metall	ca. 3.125	t/a
BRAM	ca. 10.000	t/a
Glas	ca. 3.125	t/a
Papier	ca. 1.250	t/a

Produkteigenschaften:

BRAM

Schüttgewicht	450	kg/m³
Feuchtigkeit	8,6	Gew.-%
H_o	18,9	kJ/kg
H_u	16,15	kJ/kg
Aschegehalt	16,5	Gew.-%
C	42,6	"
H	5,5	"
S	0,15	"
Cl	1,83	"
F	36	mg/kg
Fe	8400	"
Zn	600	"
Cu	500	mg/kg
Ni	59	"
Cd	4,8	"
Pb	140	"
Cr	51	"
Hg	0,5	"

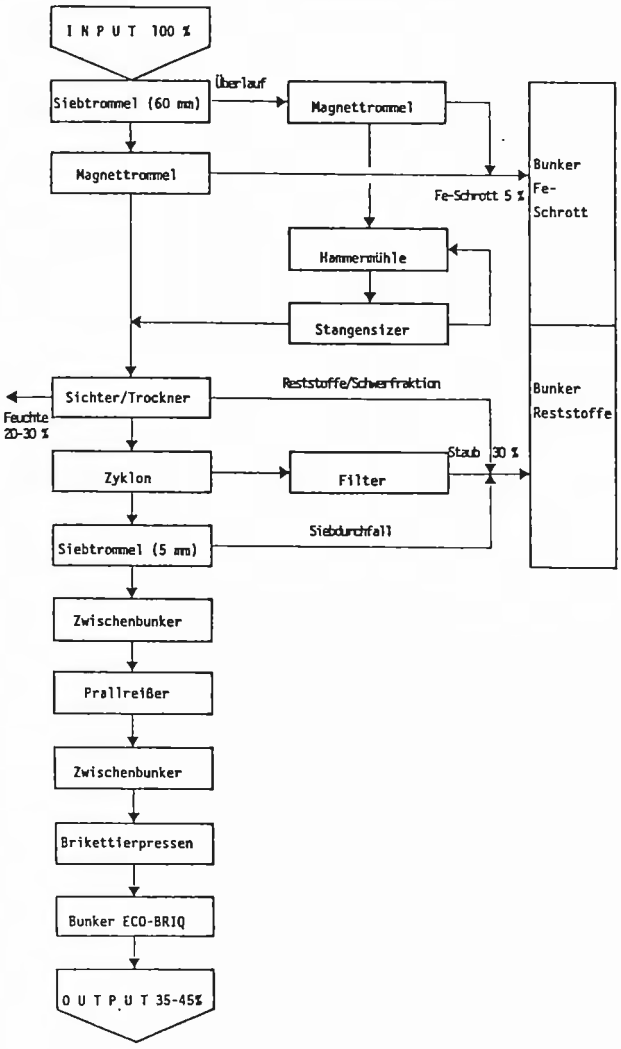
Wirtschaftlichkeit:

Personal inclusive Management 27 Personen

Entwicklungsstand:

Bisher hat die Anlage in Doncaster nicht zufriedenstellend funktioniert. Die Trommel neigt zum Zusetzen durch Textilien, Kunststoffe und Bänder aller Art, die Glasaufbereitung war bei der Besichtigung stillgelegt und bereits lange Zeit nicht mehr benutzt worden. Das einzige Produkt, das zur Zeit abgesetzt werden kann, ist BRAM. Genauere Untersuchungen über die tatsächliche Leistung der Anlage sind vom Warren Spring Laboratory nicht herausgegeben worden.

Abb. 5.16.1
Schematisches Fließbild des RZR-Herten zur Herstellung von ECO-BRIQ

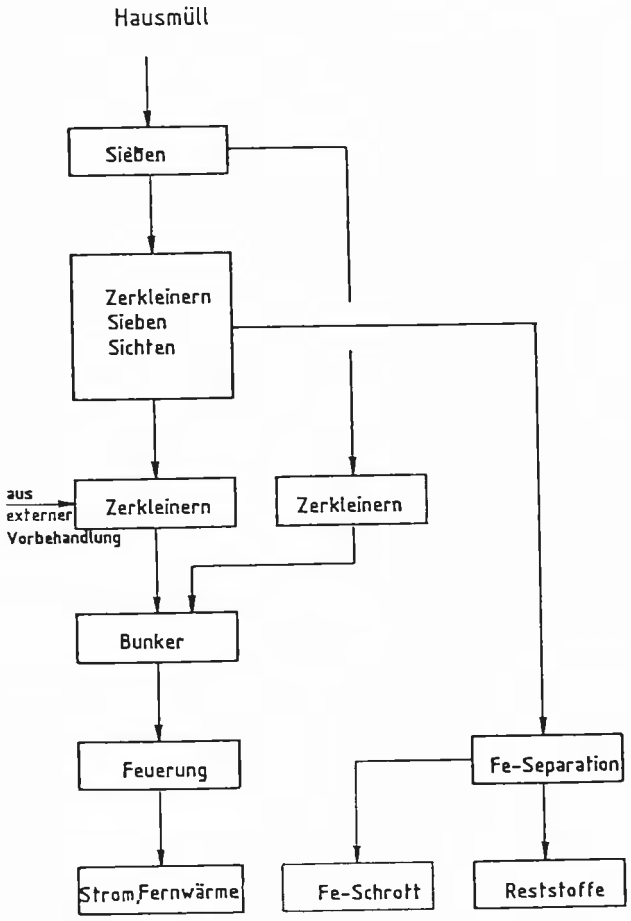


5.16 MVU – Mannesmann VEBA Umwelttechnik

Anbieter: MVU – Mannesmann
VEBA Umwelttechnik GmbH
Südstraße 41
D-4690 Herne 2

Verfahrensbeschreibung:
Aufgrund von Versuchen im Pilotmaßstab in Herne wurden seit 1979 Verfahren zur Brennstoffherstellung aus Haus- und Gewerbemüll entwickelt. Hergestellt werden können ECO-BRIQ nach dem in Abbildung 5.16.1 dargestellten Verfahren. Die Anlage in Herten hat zwei Linien a 25 t/h und soll ca. 120.000 t ECO-BRIQ aus 300.000 t Hausmüll erzeugen. Die zweite Entwicklung der MVU auf dem Sektor der BRAM-Herstellung betrifft die ZSS-Trommel (Zerkleinerung, Siebung, Sichtung), die eine mobile Anlage in Baugrößen mit einem Durchsatz von 12 – 25 t/h darstellt. Dieser Prozeß wird ECO-COMB Verfahren genannt und ist in Abbildung 5.16.2 als Fließbild dargestellt. Das besondere an diesem Verfahren ist, daß der Hausmüll in der ZSS-Trommel zerkleinert, gesiebt und durch Absaugen der Leichtfraktion gesichtet wird. Das Verfahren hat große Ähnlichkeit mit dem GMP-Verfahren in Odense.

Abb.5.16.2
Fließbild des mobilen ECO-COMB Verfahrens entwickelt von der MVU zur Erzeugung von BRAM

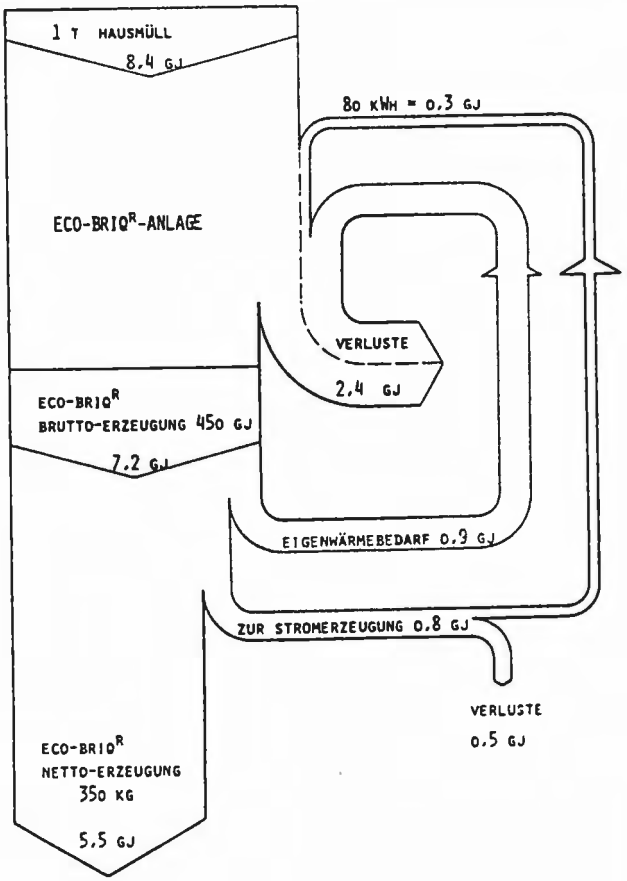


Materialbilanz:

	ECO–BRIQ	ECO–COMB
BRAM	35 %	33,2 Gew.–%
Fe–Schrott	5 %	4,8 Gew.–%
Reststoffe	40 %	55,2 Gew.–%
Feuchtigkeit	20 %	6,8 Gew.–%

Energiebilanz:

Abb. 5.16.3
Energiebilanz des ECO-BRIQ Verfahrens der geplanten Anlage in Herten



Für die Aufbereitung mit der ZSS-Trommel werden ca. 25 kWh/t Hausmüll benötigt. Für die weitere Aufbereitung zu BRAM-Pellets werden ca. 20 kWh/t Müllinput und ca. 40 kWh/t (thermisch) für die Trocknung benötigt.

Produkteigenschaften:

ECO-BRIQ					
Schüttgewicht	620	kg/m³	F	20	mg/kg
Feuchtigkeit	9,5	Gew.-%	Fe	8600	"
H_o	15,5	MJ/kg	Zn	750	"
H_u	13,15	MJ/kg	Cu	150	"
Aschegehalt	29,7	Gew.-%	Ni	29	"
C	37,6	"	Cd	4,5	"
H	4,5	"	Pb	140	"
S	0,14	"	Cr	67	"
Cl	0,56	"	Hg	1,3	"

Wirtschaftlichkeit:

Anlagekapitalbedarf:

ECO-BRIQ 200.000 t/a 45,5 Mio DM (Preisbasis 1982)

ECO-COMB (Preisbasis 1983)

	Maschinen + Elektrik + Montage
12 t/h	3,7 Mio DM
2 x 20 t/h	12,2 Mio DM
2 x 25 t/h	18,6 Mio DM

Referenzanlagen:

Herne (Versuchsanlage), Deutschland
Herten, Deutschland
Bochum (Versuchsanlage), Deutschland

Entwicklungsstand:

Die MVU hat umfangreiche Untersuchungen unternommen, um solide BRAM-Anlagen zu errichten. Die Betriebsanlage in Herten hatte und hat große Schwierigkeiten bei der Kreislaufführung der schwer zerkleinerbaren Müllbestandteile, mit der Senkung des Aschegehaltes – beides ist bereits verändert worden (vgl. Abb. 5.15.1) –, mit dem Flugtrockner (Heißluftwindsichter) und vor allem mit einer Reihe von Transporteinrichtungen und Lagerbehältern in dem Konfektionierungsteil. Erst nach erfolgreichem Umbau der Pufferbehälter (falsche Förderrichtung des lockeren und leichten BRAM), Entfernung der Schnecken (oder alternativ: kleineres Korn besonders bei Textilien) und Ersatz bzw. Verbesserung der Eirich-Prallreißer wird auch dieser Teil funktionieren.

Die ZSS-Trommel ist erst in der Erprobungsphase und muß bis zu einer weitergehenden Beurteilung erst genauer getestet werden.

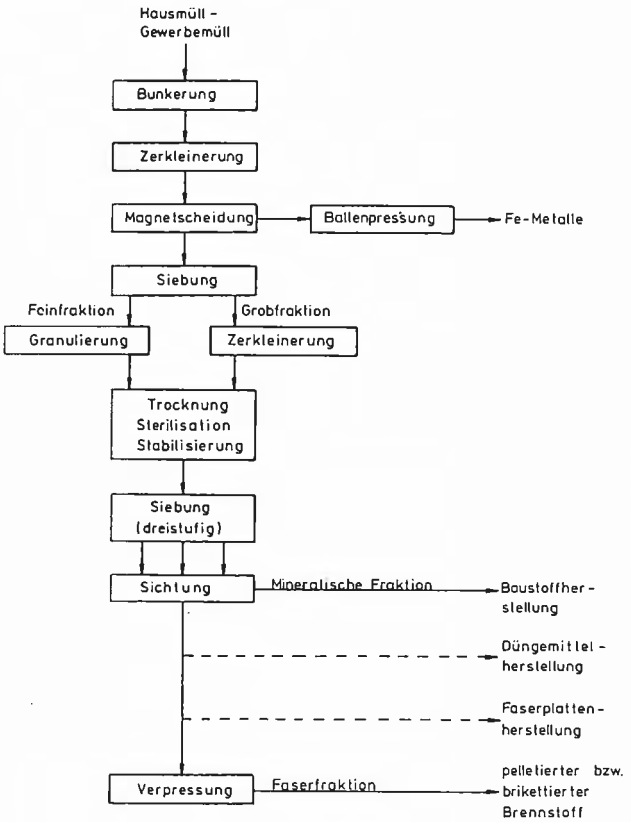
5.17 ORFA-Verfahren

Anbieter: ORFA AG
Zelgmattstr. 12
CH-8956 Killwangen

Verfahrensbeschreibung:

Das relativ unbekannte Verfahren ist in der Abbildung 5.17.1 dargestellt (entnommen der Veröffentlichung von K. J. Thomé-Kozmiensky: Materialrecycling...., Band 5, E. Freitag Verlag Berlin 1983, S. 264).

Abb. 5.17.1
Verfahrensstammbaum des Recyclingverfahrens der Firma ORFA AG, Schweiz



Materialbilanz:

Organische Bestandteile	55 Gew.–%
Anorganische Bestandteile	13 Gew.–%
Fe–Metalle	5 Gew.–%
Feuchtigkeit	27 Gew.–%

Energiebilanz:

Aufbereitung	ca. 150 kWh/t
Biologische Stabilisierung	ca. 3000 kWh/t (thermisch)
Heizwert des BRAM	ca. 16,8 MJ/kg

Entwicklungsstand:

Über den Stand der Entwicklung kann aufgrund der mangelnden Information nichts Genaueres gesagt werden. Von der Produktseite erscheint es allerdings sehr zweifelhaft, ob außer BRAM und Fe-Metallen noch andere Produkte absetzbar sind. Außerdem erscheint dieses Verfahren sehr energie- und verschleißaufwendig.

5.18 PLM – BRINI Verfahren

Hersteller: PLM Miljöteknik AB
Sturkögatan 2
S-21124 Malmö

Verfahrensbeschreibung:

Die PLM-Miljöteknik hat ca. 1973 an der Entwicklung von Müllsortiersystemen begonnen. Von allen Aggregaten und Entwicklungsvarianten blieb nur das BRINI-Verfahren bestehen. Das BRINI-Verfahren ist in drei Module einteilbar: Modul 1 besteht aus der Zerkleinerung und Separierung in die Kompost-, Leicht- und Schwerfrakton. Aus der Schwerfraktion wird das Fe-Metall herausgeholt.

Modul 2 besteht aus der Konfektionierung der Leichtfraktion zu lagerfähigen Brennstoff-Pellets.

Modul 3 stellt die Kompostierung mit der weiteren Aufbereitung dar.

Die Separierung der Anlage wird durch den Ballistischen Separator vorgenommen, der in Bausteinen mit einem Nenndurchsatz von ca. 10 t/h geliefert wird.

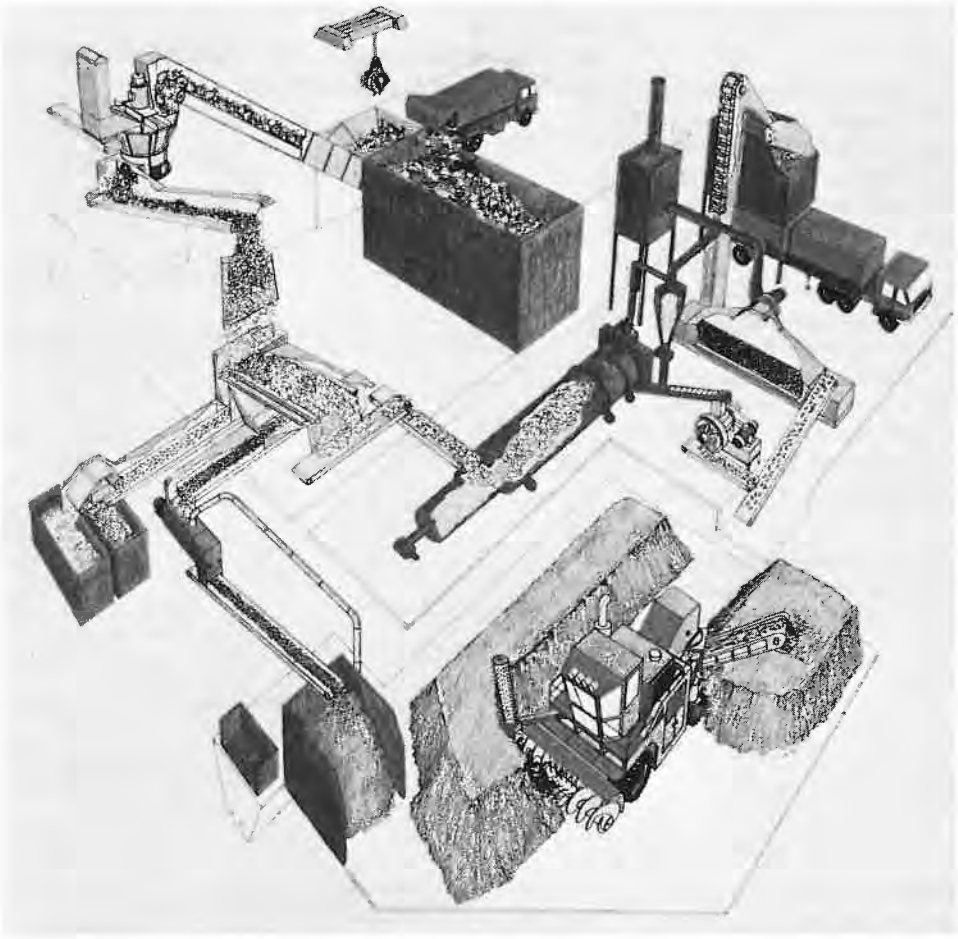


Abb. 5.18.1
Isometrische Darstellung des Maschinenstammbaums der Recyclinganlage zur Herstellung von BRAM nach dem BRINI-Verfahren der PLM, Schweden

Materialbilanz:

Produkt/Anlage	Kovik Gew.–%	Sundsvall Gew.–%	Linköping Gew.–%	SYSAV Gew.–%
BRAM	32,3	64,4	34,6	52,1
Fe–Schrott	1,9	–	–	1,8
Kompostrohfraktion	59,0	29,2	53,5	36,7
Reststoffe	6,8	8,4	11,9	9,4
Haushaltsabfall	100,0	100,0	100,0	100,0

Energiebilanz:

Zerkleinerung	:	8,0 kWh/t	Input
Separierung	:	4,9 kWh/t	"
Pelletieren	:	8,4 kWh/t	"
Fördern, Kühlen	:	1,3 kWh/t	"
Trocknerantrieb	:	2,4 kWh/t	"
Entstaubung	:	6,4 kWh/t	"
Gesamtanlage	:	31,4 kWh/t	Input

Produkteigenschaften:

			Anlage Kovik		Anlage Sundsvall	
	Parameter		BRAM	Kompost	BRAM	Kompost
	1		2	3	4	5
1	Rohdichte	kg/m³	40	–	40	–
2	Rohfeuchte	Gew.–%	30,3	55,6	26,7	50,7
3	Aschegehalt	Gew.–%	13,7	60,9	15,0	67,2
4	H_u	MJ/kg	12,3	–	16,7	–
5	H_o	MJ/kg	18,6	–	23,6	–
6	Ascheschmelzpunkt	Grad C	1210	–	1145	–
7	Zn	mg/kg	380	1200	270	1300
8	Cu	"	38	330	29	180
9	Co	"	3,8	7,5	2,9	7,8
10	Cr	"	11,0	27,0	12,0	22
11	Ni	"	7,3	330	6,0	25
12	Pb	"	240	480	150,0	300
13	Cd	"	0,70	4,2	1,2	2,5
14	Hg	"	0,78	4,0	14,0	1,7
15	Cl–	Gew.–%	0,23	–	0,22	–
16	S (gesamt)	"	0,17	–	0,25	–
17	N–Kjeld	"	0,65	–	0,59	1,1
18	pH		–	7,8	–	7,7
19	P	Gew.–%	–	–	–	0,46
20	K	"	–	–	–	0,31
21	Mg	"	–	–	–	0,25

Wirtschaftlichkeit (Preisbasis 1983):

Maschinen + Montage + Inbetriebnahme	
Anlage für 60 t/h	
Zerkleinerung, Sortierung	7,5 Mio DM
Konfektionierung	6,9 Mio DM
Summe Maschinen	14,4 Mio DM

Referenzanlagen:

Kovik, Schweden
Sundsvall, Schweden
Linköping, Schweden
Helsingborg, Schweden
SYSAV-Malmö, Schweden
Frederikssund, Dänemark
Pitten, Österreich
Larvik, Norwegen
Vaxholm, Schweden

Entwicklungsstand:

Die Aufbereitungsanlage der PLM-Miljöteknik, besonders das Trennaggregat "Ballistischer Separator", erscheint als ein sehr ausgereiftes und preiswertes Gerät zur Produktion von Kompost und BRAM. Als Einzelaggregat wird es in den Verfahren von ENADIMSA, Tollemache, Visno und der Saarberg Fernwärme benutzt. Die Trennleistung der PLM-Sortierung – gemessen an dem Kriterium Asche im BRAM im Verhältnis zur Ausbeute – ist von allen Anlagen eindeutig am besten zu beurteilen.

5.19 Revalord/BRGM

Hersteller: BRGM
Bureau de Recherches
Geolog. et Minieres
B.P. 6009
F-45018 Orleans

Verfahrensbeschreibung:

Das Revalord-Verfahren ist ein Verfahren, das einer Verbrennung vorgeschaltet ist und ca. 20 Gew.-% an Wertstoffen vor der Verbrennung aus dem angelieferten Müll holt. Die Anlage hat drei Linien, die zusammen ca. 22 t/h verarbeiten können (ca. 100.000 t/a).

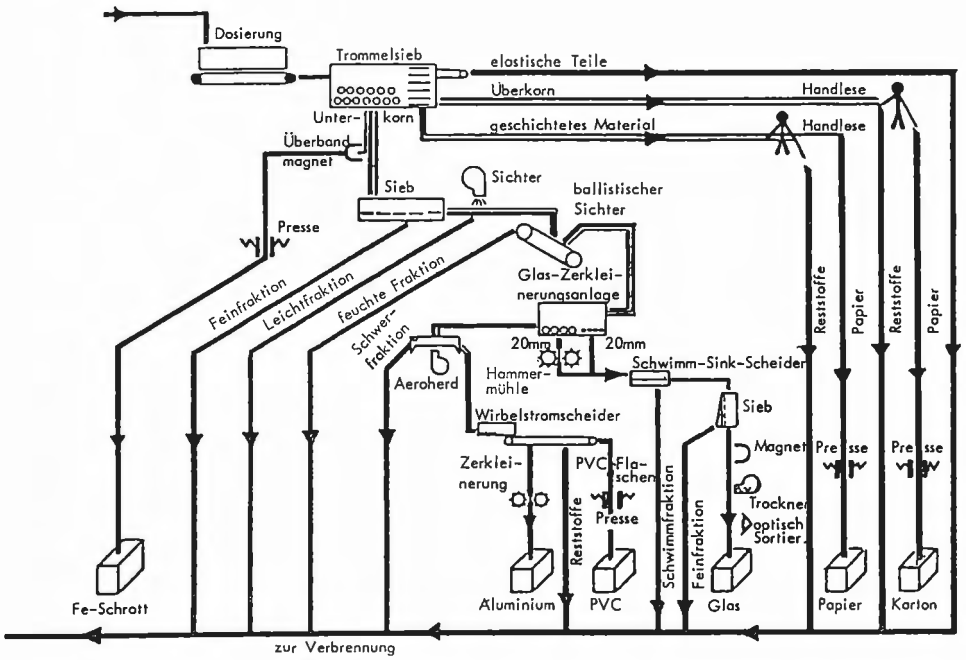


Abb. 5.19.1 Schematische Darstellung

Materialbilanz:

Material	kg/h	Rückgewinnungsrate %
gr. 200 mm		
Kartonagen	800	90
Zeitungen, Illustrierte	1300	90
50 – 200 mm		
Fe-Metalle	700	90
NE-Metalle	40	65
Glas	1300	85
PVC-Behälter	200	75

Energiebilanz:

Verbrennung	80 Gew.–%	7,95 MJ/kg
Sortierung	20 Gew.–%	6,78 MJ/kg
Hausmüll	100 Gew.–%	7,75 MJ/kg

Produkteigenschaften:

Glasverunreinigungen

0,1	Gew.–%	Papier, Plastik, Holz, Gummi
0,05	"	Steine, Keramik, andere Min.
0,01	"	Fe–Metalle
0,05	"	NE–Metalle

BRAM	Anteil %	Heizwert kJ/kg
Nichtbrennbares	0,8	0
elastische Teile	1,2	11 700
leichte Papiere	7,5	11 300
feuchtes Material	29,0	6 700
schweres Organisches	6,5	10 050
feines Organisches	31,0	6 700
Kunststoffe	3,0	23 000

Referenzanlagen:
Nancy, Frankreich
Orleans, Frankreich

Entwicklungsstand:
Es gibt nur wenige Berichte über dieses Verfahren und darüber hinaus keine Untersuchungen nach der Inbetriebnahme, so daß kein Urteil gefällt werden kann.

5.20 Schönmackers

Hersteller: Schönmackers GmbH
Am Selder 9
D-4152 Kempen 1

Verfahrensbeschreibung:
In der Abbildung 5.20.1 ist in einem Blockschaltbild die Sortieranlage von Schönmackers in Kempen dargestellt. In dieser Versuchsanlage können 6 t/h aus der "Grünen Tonne" aussortiert werden. Im 2-Schichtbetrieb werden ca. 20.000 t/a verarbeitet. Mit der "Grünen Tonne" werden ca. 22,9 Gew.-% des Gesamtanfalls in Kempen erfaßt und können in der Anlage verarbeitet werden.

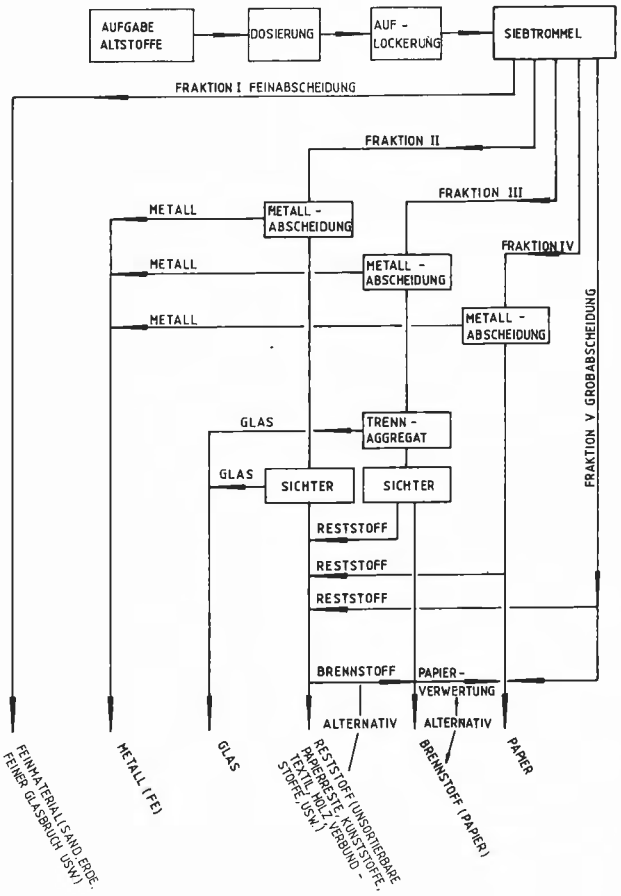


Abb. 5.20.1 ▶
Blockschaltbild der Versuchsanlage in Kempen der Firma Schönmackers zur Verarbeitung der "Grünen Tonne"

Materialbilanz:

Altstoffzusammensetzung in der Tonne:	
Papier	ca. 52,0 Gew.–%
Glas	ca. 28,0 Gew.–%
Fe–Metall	ca. 6,5 Gew.–%
Textilien	ca. 3,5 Gew.–%
Kunststoffe	ca. 3,0 Gew.–%
unsortierbare Reste	ca. 7,0 Gew.–%

Wirtschaftlichkeit:

Anlagekapitalbedarf (Preisbasis 1983) 4,5 Mio DM

Betriebskosten
An den Versuchskosten ist das BMFT mit 1,1 Mio DM ebenso beteiligt wie an dem Anlagekapital mit einem Zuschuß von 50 %.

Zusätzlich werden die restlichen Betriebskosten, die nicht von den Erlösen gedeckt werden können, von den beteiligten Gemeinden getragen. Der Betrag liegt laut Angabe des Betreibers pro Tonne über den Gebühren der Deponiekosten.

Entwicklungsstand:

Bis zu einer ersten Beurteilung muß der Forschungsbericht abgewartet werden, der 1985 erscheinen soll.
Titel: Entwicklung, Bau, Optimierung und Versuchsbetrieb einer Sortieranlage für die Trennung eines Mehrkomponentengemisches aus dem "Grünen Behälter".

5.21 SBM-Wageneder

Hersteller: SBM-Wageneder
Matzingthalstr. 21
A-4663 Laakirchen

Abb. 5.21.1
Darstellung der Anlage zur Herstellung von BRAM der Firma SBM-Wageneder aus Laakirchen, Österreich

Verfahrensbeschreibung:

Seit ca. 2 Jahren ist die Firma SBM-Wageneder mit einer amerikanischen Lizenz eines Recyclingsystems zur Herstellung von BRAM auf dem europäischen Markt. In der Abbildung 5.21.1 ist die Versuchsanlage der Herstellerfirma SBM-Wageneder für ca. 15 – 20 t/h dargestellt. Das besondere an diesem Verfahren ist der Kammwalzensortierer. Mit dem nur grob vorzerkleinerten Material wird im Sortiergerät durch die Rotation der exzentrisch ausgeführten Kammwalzenscheiben ein schwebendes Bett erzeugt, das in den beiden aufwärtsgeneigten Ebenen nach oben wandert. Feine Bestandteile, Glas, Vegetabilien, Mineralien etc. fallen zwischen den rotierenden Scheiben durch, die auf einen Abstand von ca. 20 mm eingestellt sind. Die Leichtfraktion wird anschließend zerkleinert, gesichtet und mit einer Flachmatrize zu Pellets verpreßt.

Materialbilanz:

KRF	50 %
Fe–Metall	5 %
Deponie, Verluste	15 %
BRAM	30 %

Energiebilanz:

Bei 25 t Durchsatz/h werden 34 kWh/t elektrisch und 170 kWh/t thermisch und bei 10 t Durchsatz/h werden 55 kWh/t elektrisch und 170 kWh/t thermisch benötigt.

Produkteigenschaften:

BRAM		
Größe, Länge/Durchmesser	mm	45/20
Wassergehalt	%	14
pH–Wert	pH	7,5
Leitfähigkeit	mS/cm	1,6
H_o	kJ/kg	18.425
H_u	kJ/kg	15.510
Glührückstand		
500 Grad C	% TS	23,2
1000 Grad C	% TS	21,1
Gesamtchlor	mg/kg	1.700
Chlorid	"	1.700
Gesamtschwefel	"	2.100
Sulfat	"	110
Stickstoff	"	6.100
Kohlenstoff	"	414.000
Calcium	"	17.000
Magnesium	"	4.600
Kalium	"	3.200
Aluminium	"	11.400
Blei	"	330
Kadmium	"	11
Kupfer	"	2.300
Zink	"	820
Nickel	mg/kg	20
Chrom	"	40

Referenzanlagen:

Laakirchen, Österreich

Entwicklungsstand:

Obwohl die Firma erst seit zwei Jahren auf dem Sektor der BRAM-Herstellung engagiert ist, wurde sofort eine Versuchsanlage im Betriebsmaßstab erstellt. Die Anlage ist unkompliziert und kompakt. Erste Optimierungsschritte haben ergeben, daß ein nachgeschalteter Windsichter sinnvoll ist. Damit konnte der Anteil an schadstoffreichen Hausmüllbestandteilen gesenkt werden. Nach einer weiteren Optimierungsphase – weitere Absenkung des Asche- und Feuchtegehaltes im losen BRAM – scheint dieses Verfahren vielversprechend zu sein.

5.22 SFW – Saarberg Fernwärme

Hersteller: Saarberg Fernwärme GmbH
Sulzbachstr. 26
D-6600 Saarbrücken

Verfahrensbeschreibung:

Die Saarberg Fernwärme hat im Rahmen ihres Pyrolyseprojektes (ca. 1976) Hausmüll zerkleinern und aufbereiten müssen. Aus diesem Ansatz hat sich eine Sortierung entwickelt, die sich von dem PLM-Verfahren nur durch eine zusätzliche Siebstufe unterscheidet. Zur Zeit baut die Saarberg Fernwärme allerdings in Dußlingen das Bundesmodell Abfallverwertung, das am 15.2.1985 in den Probebetrieb gehen sollte. Die Anlage soll insgesamt ca. 180.000 t/a verarbeiten. Die Hausmüll-Linie soll 25 t/h, die Linie für Sperrmüll 10 t/h und die Linie für den Geschäfts- und Gewerbemüll soll 15 t/h verarbeiten. Die Anlage wird in 2 Schichten pro Werktag betrieben.

Materialbilanz:

Folgende Produkte werden aus dem Bundesmodell erwartet:

Rohkompost	ca. 53.000 t/a
BRAM I	ca. 19.200 t/a
BRAM II (oder Papier,Pappe, Kunststoffe)	ca. 30.000 t/a
Holz, Schwergut für die Energie-zentrale	ca. 28.000 t/a
Schrott	ca. 8.000 t/a
Deponiegut	ca. 34.550 t/a

Energiebilanz:

Strom ca. 19 Mio kWh/a
oder ca. 106 kWh/t Wirtschaftlichkeit (Schätzdaten von 1983):

Anlagekapitalbedarf	ca. 125 Mio DM
Staatszuschuß	68 Mio DM
Spezifische Betriebskosten	ca. 160,-- DM/t

Entwicklungsstand:

Dem Bundesmodell liegt eine sehr gute Idee zugrunde, daß nämlich alle bestehenden Abfallbeseitigungsmöglichkeiten und -techniken an einem Ort in einem Non-Profit-Betrieb getestet und untersucht werden. Dieser gute Grundgedanke wird leider 10 Jahre zu spät durchgeführt, denn die angestrebten Ergebnisse dieser Anlage sind mit einem geringeren Kapitalbedarf von ca. 60 – 70 Mio DM (Preisstand 1984) und einer weniger komplizierten Technik ebenfalls zu erreichen.

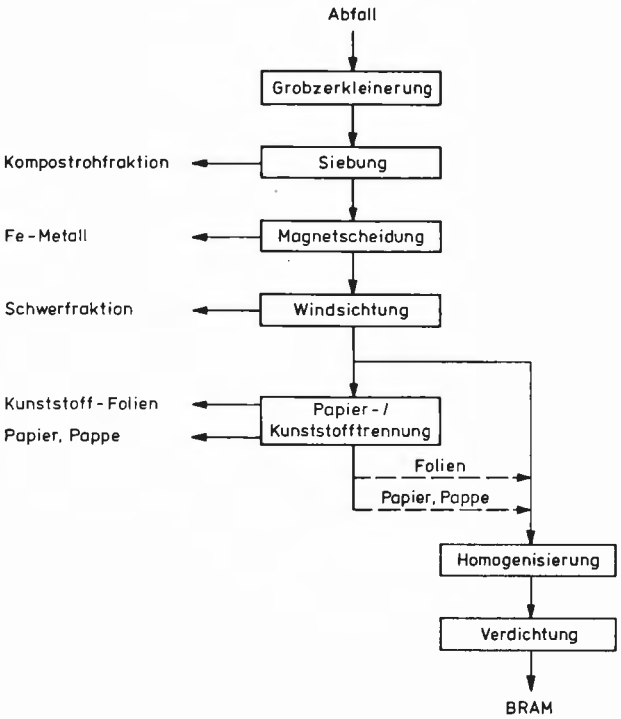
Beim Durcharbeiten der Ausschreibungsunterlagen und -pläne wird deutlich, daß das Bundesmodell an sehr vielen Stellen der Anlage Schwierigkeiten haben wird: Aggregate stehen in ungünstiger Anordnung oder werden nicht das leisten, was erwartet wird; zu viele Umlenkungen der Stoffströme; einige Stoffgruppen werden durch aufwendige Maschinen getrennt und anschließend wieder zusammengeworfen etc.

Das Bundesmodell ist als Modell überholt und wird, obwohl die ursprüngliche Grundidee richtig war, sehr bald andere Funktionen anstreben müssen, da bereits eine Reihe von Anlagen der europäischen Aufbereitungsindustrie billiger und mit besseren Leistungen angeboten werden können.

5.23 Sorain Cecchini

Hersteller: Sorain Cecchini S.p.a
Via Bruxelles, 53
I-00198 Roma

Abb. 5.23.1
Fließbild der Anlage in Roma von der Firma Sorin Cecchini zur Herstellung von "Calurb"



Verfahrensbeschreibung:

Die Anlage in Rom ist wohl die älteste laufende Recyclinganlage Europas. Sorain Cecchini hat auf dem Sektor der Hausmüllaufbereitung umfangreiche Erfahrungen gesammelt und erfolgreich anwenden können. Das Verfahren ist mehrfach geändert worden und erzeugt nun BRAM mit dem Markenname "Calurb", der auch in selbstentwickelten Verbrennungsanlagen verbrannt werden kann. In der Abbildung 5.23.1 ist das Fließbild der Recyclinganlage in Rom dargestellt.

Materialbilanz:

Wie bereits aus der Abbildung 5.23.1 abgeleitet werden kann, stellt der BRAM das Hauptprodukt dar, wobei je nach Marktlage Folien oder Papier und Pappe dem Brennstoffausgangsprodukt entzogen werden kann.

Zusammensetzung	Hausmüll Rom Gew.-%	BRAM Wiedergewinnungsrate Gew.-%	BRAM-Zusammensetzung Gew.-%
1	2	3	4
1 Papier, Pappe	25,0	21	71,2
2 Kunststoff-Folien	3,5	3,3	11,2
3 Kunststoff-Formkörper	3,0	0,9	3,0
4 Fe-Metall	2,5	–	–
5 Text, Leder, Holz	3,0	1,9	6,5
6 Vegetabilien	53,0	2,1	7,1
7 Glas, Mineralien	10,0	0,3	1,0
8 Summe	100,0	29,5	100,0
9 Heizwert H_o (MJ/kg)	8,5	–	16,7
10 Feuchtigkeit Gew.-%	47	–	24,0

Referenzanlagen:

Rom, Italien
Perugia, Italien

Entwicklungsstand:

Nach vielen Untersuchungen und Veränderungen an der Anlage in Rom ist es Sorain-Cecchini gelungen, eine maschinelle Aufbereitungsanlage zu entwickeln, die modifiziert auf die jeweiligen Bedürfnisse und auf die entsprechende Abfallzusammensetzung in ganz Europa einsetzbar ist.

5.24 Trienekens – U.T.G.

Anbieter: M. Trienekens
Greefsallee 1-5
D-4060 Viersen 1

Verfahrensbeschreibung:

Die Firma Trienekens – U.T.G. hat die Sortieranlage in Neuss seit 1977 selbst entwickelt und mit dem Betrieb 1982 begonnen. Es werden ca. 120.000 t/a an Hausmüll und ca. 20.000 t/a an Geschäftsmüll verarbeitet. Die Anlage hatte für die Bundesrepublik eine gewisse Pilotfunktion, da in der Anlage Neuss einige festgefügte Vorurteile der Abfallbeseitiger in der BRD widerlegt werden konnten. So wurde unter anderem der Flachbunker und die Handlese eingeführt, beides wurde bisher als sehr unhygienisch und als nicht durchsetzbar angesehen. In der Abbildung 5.24.1 ist die Recyclinganlage der Firma Trienekens – U.T.G. als Fließbild dargestellt.

Wirtschaftlichkeit (Preisbasis 1983):

Kosten:

Kapitalabhängige Kosten:	
Bau: 7,0 Mio DM	
Afa: 25 a	280.000,— DM/a
Maschinen: 17 Mio DM	
Afa: 8 a	2.125.000,— DM/a
Zinsen: 8 %, 1/2 Kapital	960.000,— DM/a
Summe Kapitalabhängige Kosten	3.365.000,— DM/a

Betriebskosten:

– Personal (einschl. LN–Kosten)		
1 Betriebsleiter	75.000,—	
2 Schlosser–/Elektromeister	160.000,—	
2 Radlader–/Gabelstaplerfahrer	140.000,—	
8 Hilfskräfte (Sortierer)	200.000,—	
		575.000,— DM/a
– Wartung/Pflege/Unterhaltung		
Gebäude: 1 % der Invest.	70.000,—	
Maschinen: 5 % der Invest.	850.000,—	
LKW/Gabelstapler/Radlader/ Container	200.000,—	
		1.120.000,— DM/a
– Energie		
1000 kWh x 2.000 h/a x 0,20 DM/kWh		400.000,— DM/a
– Abfallbeseitigung		
Durchsatz: 120.000 t/a Hausmüll 20.000 t/a Gewerbemüll		
Rest (Deponie) ca. 60.000 t/a x 20,—DM/t		1.200.000,— DM/a
– Verwaltung/Versicherung (Feuer,LW,Sturm)		
Versicherung: 5 o/oo der Inv.	120.000,—	
Verwaltung: 10 % der Betriebs– kosten	330.000,—	
		450.000,— DM/a
Summe der Betriebskosten		3.745.000,— DM/a
Sume der Kapital– und Betriebskosten		7.110.000,— DM/a
Kosten pro t Durchsatz		50,80 DM/t

Erlöse:

Papier (B 12)	14.000 t/a	x 65,— DM/t	=	910.000,— DM
Brennstoff (ca. 3.500 kcal/kg)	9.500 t/a	x 40,— DM/t	=	380.000,— DM
Kaufhaus (B 19)	3.000 t/a	x 100,— DM/t	=	300.000,— DM
Wellpappe (W 52)	4.800 t/a	x 120,— DM/t	=	576.000,— DM
Fe–Schrott (Haus– und Gewerbemüll)	5.300 t/a	x 50,— DM/t	=	265.000,— DM
NE–Metalle	300 t/a	x 80,— DM/t	=	24.000,— DM
Kunststoff	1.000 t/a	x 250,— DM/t	=	250.000,— DM
Holz	2.000 t/a	x 20,— DM/t	=	40.000,— DM
Kompost	ca. 40.000 t/a	x –10,— DM/t	=	–400.000,— DM
	ca. 80.000 t/a			2.345.000,— DM
Erlöse pro t Durchsatz				16,75 DM

Spezifische Kosten	50,80 DM/t
Spezifische Erlöse	16,75 DM/t
Spezifische Nettobeseitigungskosten	34,05 DM/t

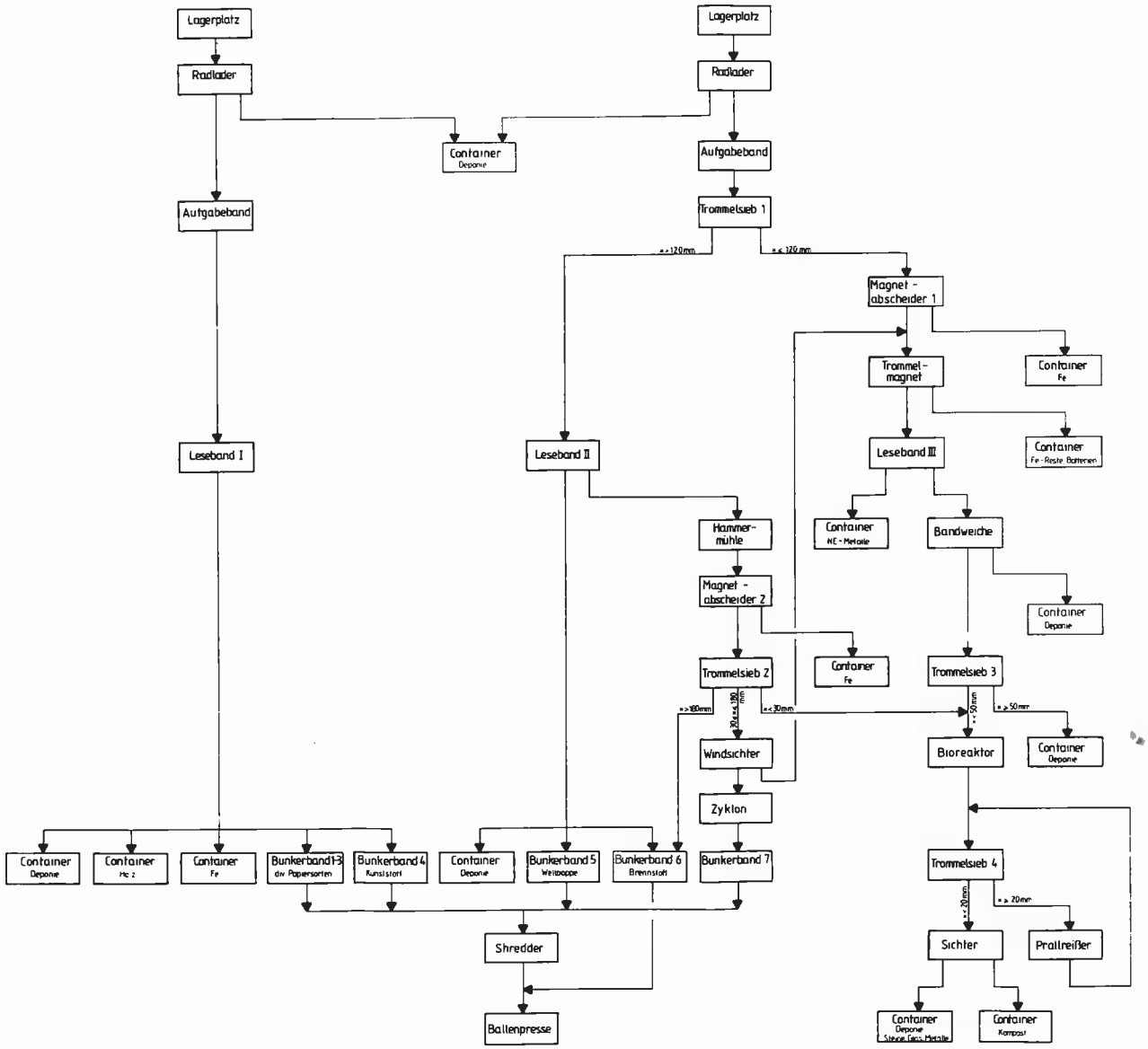
Referenzanlagen:

Neuss, Deutschland

Entwicklungsstand:

Die Entwicklung in Neuss, in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen, hat eine praktikable Lösung erbracht. Durch einfache Änderungen der Anlage sind sowohl die Produktmengen und -qualitäten als auch deren Zusammensetzung für die jeweiligen Bedürfnisse anderer Gemeinden und Städte anwendbar.

Abb. 5.24.1
Fließbild der Rohstoffrückgewinnungsanlage in Neuss, errichtet von der Firma Trienekens – U.T.G.



5.25 T.U.C. AG

Anbieter: T.U.C. Consult AG
Zentralstraße 2
CH-8036 Zürich

Verfahrensbeschreibung:

Die T.U.C.-Consult bietet eine Reihe von Anlagen zur Rohstoffrückgewinnung an, die auf den Erfahrungen mit der Versuchsanlage in Ravensburg beruhen. So werden unter anderem Anlagen für die "Grüne Tonne" und vorgeschaltete Sortieranlagen für die Müllverbrennung angeboten.

Entwicklungsstand:

Über die Erfahrungen und den Stand der Entwicklung dieser Recyclinganlage, und das gilt auch für die anderen Sortieraktivitäten der T.U.C., ist wenig Konkretes bekannt geworden.

5.26 VAM–Fläkt

Anbieter: VAM
Stadhouderskade 40
NL-1071 ZD Amsterdam

Verfahrensbeschreibung:

Die Sortieranlage in Wijster wurde 1980 in Betrieb gesetzt. Die von Fläkt, Schweden, gebaute Anlage war für einen Mülldurchsatz von 25 t/h und 120.000 t/a ausgelegt. Die Anlage war von Anfang an nicht in der Lage, die gesteckten Ziele zu erreichen. Zusammen mit dem Betreiber der VAM wurde die Anlage in Wijster modifiziert, ein neues Konzept ausgearbeitet und 1984 in Mierlo mit einem Durchsatz von 25 t/h bzw. 40.000 t/a verwirklicht. In der Abbildung 5.26.1 sind die beiden Anlagen der VAM im Fließbild dargestellt.

Materialbilanz:

Kompostrohfraktion	40 – 45 Gew.–%
Fe–Kompaktmetall	0,5 – 1 Gew.–%
Fe–Dosenschrott	1 – 2 Gew.–%
Reststoffe	ca. 30 Gew.–%
BRAM oder Papier/Plastik	ca. 25 Gew.–%

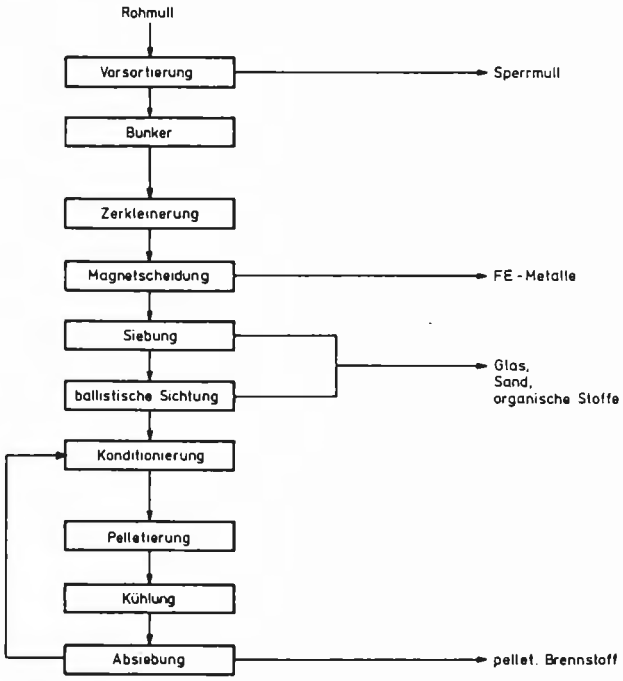
Referenzanlagen:

Wijster, Holland
Mierlo, Holland

Entwicklungsstand:

Über die modifizierte Anlage in Wijster und die neue Anlage in Mierlo gibt es leider noch wenige Informationen. Mit Sicherheit kann man aber davon ausgehen, daß die umfangreichen Entwicklungsarbeiten an der alten Recyclinganlage erfolgreich abgeschlossen worden sind. Neben einer Reihe von neuentwickelten einfachen Aufbereitungsaggregaten wurde vor allem der Absatz der Produkte wie Kompost, Glas, Kunststoffe etc. erfolgreich vorangetrieben. Es wird abzuwarten sein, welche neuen Erkenntnisse die 1984 eröffnete Anlage in Mierlo bringen wird.

Abb. 5.27.1
Verfahrensstammbaum der Anlage in Amsterdam von der Maschinenfabrik VISNO



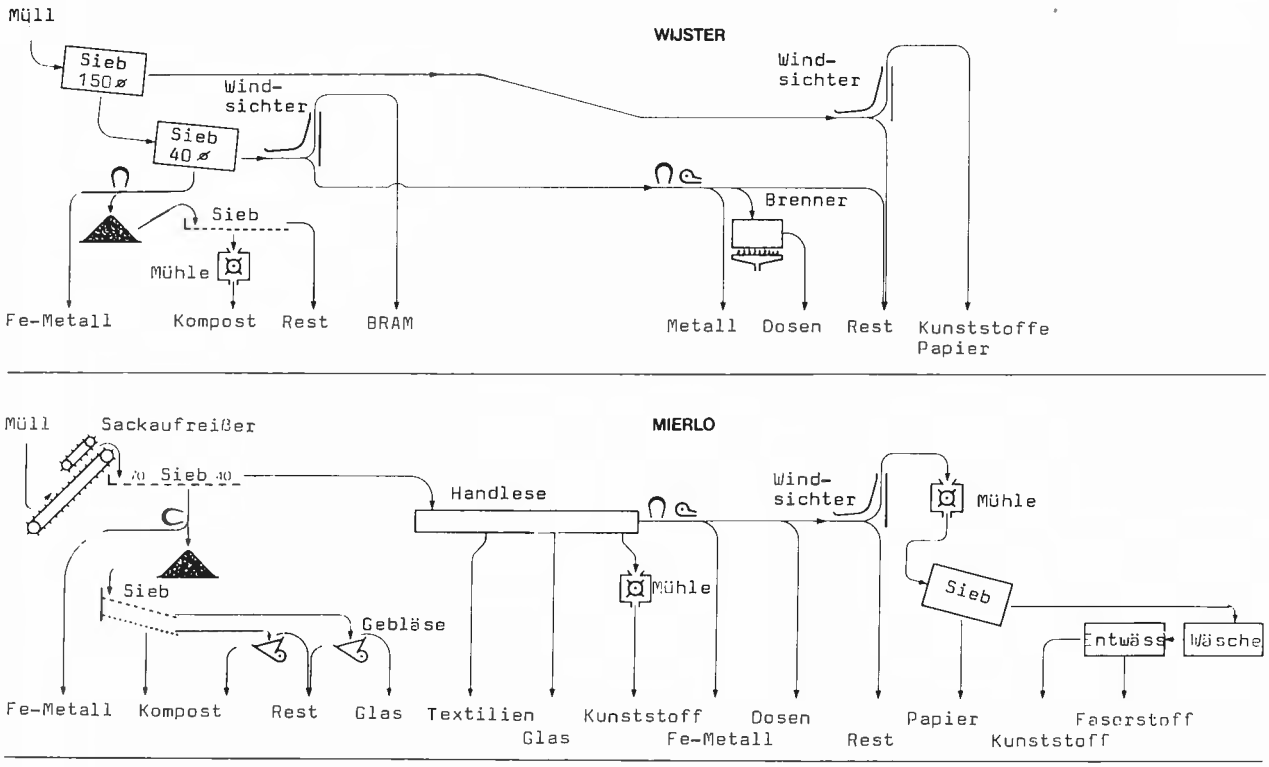
5.27 VISNO-Maschinenfabrik B.V.

Hersteller: VISNO-Maschinenfabrik B.V.
Spaarndamseweg 224-252
NL-2021 KA Haarlem

Verfahrensbeschreibung:

Die Maschinenfabrik VISNO hat mit dem ICOPOWER-Projekt in Amsterdam, vgl. Abbildung 5.27.1,

Abb. 5.26.1
Fließbilder der Sortieranlage von Wijster nach dem Umbau und von Mierlo nach dem neuen VAM-Konzept



eine Anlage für mindestens 100.000 t/a errichtet und 1983 in Betrieb genommen. Es werden Hausmüll und bevorzugt Geschäftsabfälle zu BRAM verarbeitet und in einem Wirbelschichtofen verbrannt. Versuche mit der Pyrolyse sind in Zusammenarbeit mit der Technischen Hochschule Twente erfolgreich durchgeführt worden. Die Erfahrungen mit der Brennstoffherstellung hat VISNO in Zusammenarbeit mit Icova 1981 in der Versuchsanlage gesammelt.

Materialbilanz:

Geschäfts- und Hausmüll ca.100.000 t/a

BRAM	ca. 55	Gew.-%
Fe-Metall	ca. 4	Gew.-%
Deponie	ca. 41	Gew.-%

Energiebilanz:

Strom	96,3 kWh/t Pellets
Trocknungsenergie	338 kWh/t Pellets

5 % der Pellets werden für die Eigenenergieherstellung abgezweigt.

Produkteigenschaften:

BRAM		
Feuchtigkeit	8 - 12	Gew.-%
Asche	10 - 14	Gew.-%
Flüchtige	ca. 70	Gew.-%
Heizwert	ca. 16,0	MJ/kg
C	41,9	Gew.-%
H	5,4	"
S	0,14	"
N	0,27	"
O	33,6	"
Cl	0,23	"
Cd	5,8	mg/kg TS
Cu	234,0	" "
Zn	333,0	" "
Pb	57,0	" "

Wirtschaftlichkeit (Preisbasis 1982):

Anlagekapitalbedarf:	
200.000 t/a	46,7 Mio DM
Spezifische Betriebskosten:	54,00 DM/t Input
Personalbedarf	7 Mann

Referenzanlagen:

Amsterdam, Holland

Entwicklungsstand:

Die Anlage in Amsterdam läuft seit ca. 2 Jahren ohne große Probleme und wird auch weiterhin, besonders auf dem Sektor des Energieverbrauches, optimiert. VISNO hat eine gut funktionierende Anlage entwickelt.

5.28 Voest-Alpine AG

Hersteller: Voest-Alpine AG
Finalindustrie, TFS 32
Postfach 2
A-4010 Linz

Verfahrensbeschreibung:

Die Voest-Alpine AG baut und betreibt bereits seit einigen Jahrzehnten Kompostierungsanlagen. Bei diesem Aufbereitungsprozeß fallen die leichten Bestandteile als Reststoffe an, die als BRAM eingesetzt werden können. In sehr genauen und umfangreichen Untersuchungen hat die Voest-Alpine zusammen mit SÖRAB ihre Maschinen für die BRAM-Herstellung untersucht und an der Anlage Strömstad optimiert. Der Maschinenstammbaum der Anlage ist in der Abbildung 5.28.1 dargestellt. Die Anlage in Strömstad verarbeitet ca. 15 t/h.

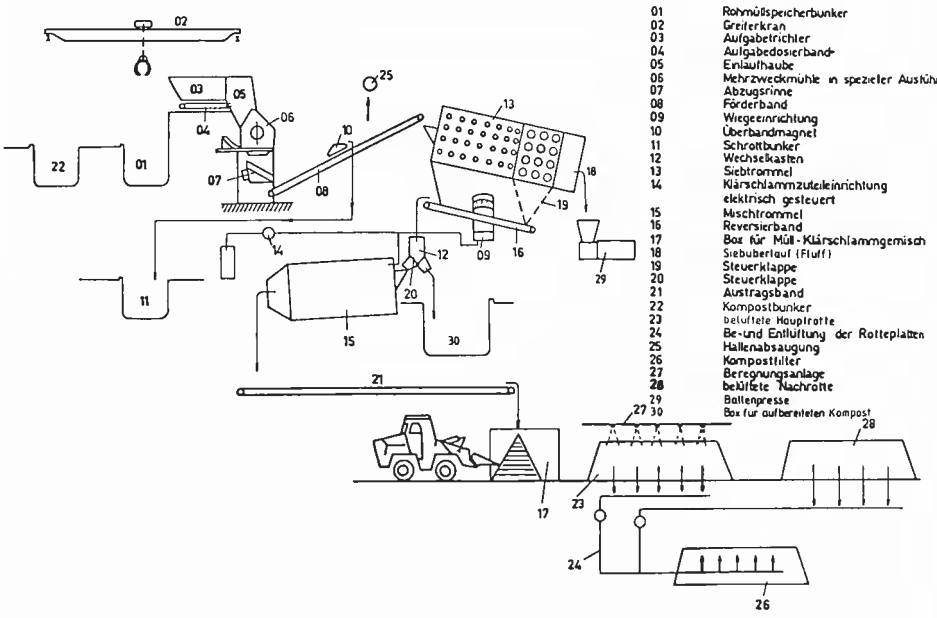


Abb. 5.28.1 Schematischer Maschinenstammbaum der Anlage in Strömstad, Schweden, der Voest-Alpine zur Herstellung von BRAM und Kompost

Materialbilanz:

	Optimierung für Kompost	Optimierung für BRAM
Fe-Metall	2,4 Gew.-%	2,4 Gew.-%
BRAM	26,3 Gew.-%	53,7 Gew.-%
Kompostrohfraktion	71,3 Gew.-%	43,9 Gew.-%

Energiebilanz:

Aufbereitung	18 kWh/t
Kompostierung (Zwangsbelüftung), Servicestrom:	69 kWh/t

Produkteigenschaften:

	Parameter		Optimierung der Anlage für Kompostproduktion		BRAM-Herstellung
			Kompost	BRAM	BRAM
	1		2	3	4
1	Schüttgewicht	kg/m³	–	50,0	50,0
2	Rohfeuchte	Gew.-%	53,9	38,4	15,0
3	Aschegehalt	Gew.-%	58,5	15,3	21,3
4	H_u	MJ/kg	–	9,7	12,9
5	H_o	MJ/kg	–	17,2	17,0
6	Ascheschmelzpunkt	Grad C	–	1205	1260
7	Flüchtige Bestand.	Gew.-%	–	–	65,0
8	C	"	–	–	49,0
9	H	"	–	–	6,3
10	N	"	0,74	0,56	0,35
11	S gesamt	"	–	0,18	0,29
12	Cl-	"	–	0,38	0,18
13	Zn	mg/kg TS	1600,0	470,0	–
14	Cu	" "	160,0	36,0	–
15	Co	" "	6,6	2,3	–
16	Cr	" "	53,0	21,0	–
17	Ni	" "	17,0	7,4	–
18	Pb	" "	580,0	80,0	–
19	Cd	" "	3,4	1,3	–
20	Hg	" "	1,5	1,5	–
21	pH		7,8	–	–

Referenzanlagen:

Aspach le-Haut, Frankreich
Graz, Österreich
Narvik, Norwegen
Strömstad, Schweden

Entwicklungsstand:

Die Voest-Alpine baut preiswerte und sehr robuste Anlagen. Die Kenntnisse über die Herstellung von Kompost und BRAM sind profund und können je nach Bedarf des Kunden entsprechend konfektioniert werden.

5.29 Waagner-Biro

Anbieter: Waagner-Biro
Stadlauerstr. 54
A-1221 Wien

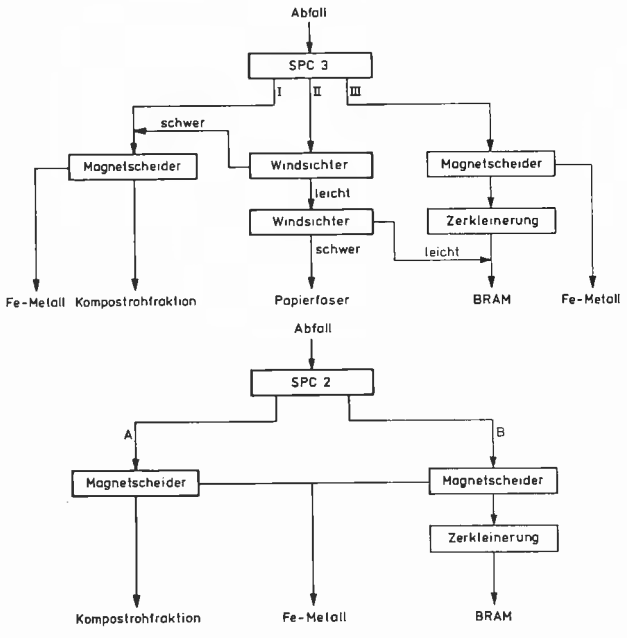
Verfahrensbeschreibung:

Waagner-Biro ist bereits im Bereich der Müllverbrennung bekanntgeworden und hat vor ca. 3 Jahren die Lizenz für das Recyclingverfahren der EBARA Corporation, Japan, für Europa erworben. Dieses System, das durch das Projekt "Stardust 80" bekanntgeworden ist, wurde bis Ende 1982 bereits siebenmal als Kompostanlage gebaut. Durch einfache Modifikation an dem bereits vorgestellten selektiven Zerkleinerer (SPC 3) kann das Gerät (SPC 2) zur BRAM- und Kompostherstellung verändert werden. In der Abbildung 5.29.1 ist das Sortiersystem SPC 2 und SPC 3 schematisch dargestellt.

Materialbilanz:

Bestandteile	SPC 3 Müll Gew.–%	Produkt I Gew.–%	Produkt II Gew.–%	Produkt III Gew.–%
1	2	3	4	5
1 Kunststoffe	11,4	0,9	2,9	38,3
2 Textilien	4,1	0,3	1,1	13,8
3 Holz	3,8	2,9	2,0	7,0
4 Papier	38,5	26,9	81,5	18,0
5 Küchenabfall	10,9	19,8	5,3	0,5
6 Gras, Stroh	0,8	0,9	0,9	0,4
7 Leder, Gummi	0,5	0,1	–	1,6
8 Metalle	5,9	0,6	0,4	20,4
9 Glas, Steine	15,0	30,3	2,4	–
10 Erde, Sand	9,1	17,3	3,5	–
11 Summe	100,0	100,0	100,0	100,0
12 Wassergehalt	50,0	63,2	64,8	30,2
13 Schüttgewicht kg/m³	270	450	300	200
Prozentuale Aufteilung ohne Fe–Metall		50 %	20 %	20 %

Bestandteile	SPC 2 Müll Gew.–%	Produkt A Gew.–%	Produkt B Gew.–%
1	2	3	4
1 Papier	56,3	58,1	55,0
2 Vegetabilien	14,5	29,4	1,0
3 Textilien	10,0	0,6	18,5
4 Holz	2,6	1,7	3,4
5 Sand, Steine	0,8	1,7	–
6 Glas	3,3	6,9	–
7 Metalle	8,2	0,8	14,9
8 Kunststoffe	4,3	0,8	7,2
9 Summe TS	100,0	100,0	100,0
10 Feuchtigkeit	49,3	54,5	40,2



Energiebilanz:

Strom für SPC 2 10 – 15 kWh/t

Entwicklungsstand:

Waagner-Biro vertreibt ein Sortiersystem, das in Japan als sehr erfolgreich angesehen wird. Bisher sind die Bemühungen von Waagner-Biro, dieses System in Europa einzuführen, nicht sehr erfolgreich.

Abb. 5.29.1
Darstellung der beiden Sortiersysteme von EBARA für die Herstellung von Kompost, BRAM, Fe-Metall und einer feuchten Papierfaserfraktion für den sofortigen Einsatz in einem Pulper

6. Die Produkte und ihre Eigenschaften

6.1 Brennstoff aus Müll

Die American Society of Testing and Materials (ASTM) hat eine Klassifizierung für BRAM im Hinblick auf die Zusammensetzung und die chemischen Eigenschaften entwickelt, die in Tabelle 6.1 dargestellt ist. Die ersten fünf Gliederungspunkte der ASTM sind für die feste BRAM-Herstellung relevant und erfordern unterschiedliche bereits vorgestellte Aufbereitungsschritte.

Zusammensetzung des BRAM

In der Anlage in Wien konnte BRAM nach unterschiedlichen Verfahren mit ähnlichem Müll hergestellt werden. In der Tabelle 6.2 sind diese verschiedenen Versuche dargestellt und durch die Zusammensetzung des losen BRAM charakterisiert. Entsprechend der unterschiedlichen Verfahrenstechnik verschiebt sich auch die Zusammensetzung des BRAM. So folgen bei der Anlage von Esmil/Andritz nach der Zerkleinerung zwei Windsichter und eine Siebtrommel, was sich besonders bei der Pappe und den Textilien bemerkbar macht. Innerhalb einer bestimmten Verfahrenstechnik bleibt die Zusammensetzung auch bei schwankender Müllzusammensetzung relativ konstant (10). Ein höherer Anteil an Brennbarem macht

Tabelle 6.1
Klassifizierung von möglichen BRAM-Spezifikationen vom ASTM Committee E 38.01

BRAM – 1	Rohmüll
BRAM – 2	Zerkleinerter Rohmüll mit (ohne) Magnetscheidung
BRAM – 3	Zerkleinerter Hausmüll nach der Magnetscheidung und Entfernung von Glas und anderen anorganischen Stoffen. Die Korngröße beträgt 95 Gew.-% < 50,8 mm Quadratloch (2 inch)
BRAM – 4	Staubförmiger BRAM mit 95 Gew.-% < 2 mm (10 mesh)
BRAM – 5	Brikettierter und pelletierter BRAM
BRAM – 6	Die brennbaren Bestandteile des Abfalls weiter aufbereitet zu flüssigem Brennstoff
BRAM – 7	Die brennbaren Bestandteile des Abfalls weiter aufbereitet zu gasförmigem Brennstoff

Tabelle 6.2
Zusammensetzung des losen BRAM, hergestellt nach unterschiedlichen technischen Aufbereitungsschritten. BRAM 3 (Spalte 3) wurde wie folgt hergestellt: Zerkleinerung, Magnetscheidung, Siebung, Windsichtung, Siebung

Zusammensetzung des losen BRAM	Untersuchungen in Wien 1982/83		
	Esmil/Andritz Gew.–%	ASTM – BRAM 3 Gew.–%	PLM Gew.–%
1	2	3	4
1 Papier	69,92	45,8	49,11
2 Pappe	6,29	13,3	18,10
3 Kunststoff–Folien	9,73	3,9	4,87
4 Textilien	0,97	7,4	7,95
5 Vegetabilien	7,30	0,8	5,82
6 Kunststoff–Formkörper	2,91	2,0	3,70
7 Holz	0,17	0,2	0,44
8 Leder	–	–	–
9 Gummi	0,17	0,1	–
10 Fe–Metall	0,02	–	–
11 NE–Metall	0,32	1,1	2,00
12 Glas	0,05	–	–
13 Mineralisches	2,15	–	–
14 < 10 mm	–	25,4	5,01
15 Summe	100,00	100,00	100,00
16 Ausbeute	30,00	40,26	46,02
17 Asche	24,20	20,10	12,50
18 Feuchte	28,21	27,48	24,20

Tabelle 6.3
Die physikalischen Größen und deren Veränderung durch die Pelletierung und Trocknung des losen BRAM

Physikalische Größen		BRAM		
		lose	Weichpellets	Hartpellets
1		2	3	4
1 Schüttgewicht	kg/m³	75,5	485,7	630,0
2 Feuchte	Gew.–%	22,0	18,0	3,0
3 Asche	Gew.–%	12,4	13,0	18,3
4 Pelletdurchmesser	mm	–	20,0	20,0
5 Pelletlänge	mm	–	ca. 35,0	beliebig

sich durch eine größere Ausbeute bemerkbar. So stieg die BRAM-Ausbeute von 41,5 Gew.-% auf 54,6 Gew.-% , obwohl die Klaubanalyse des losen Brennstoffes keine signifikanten Unterschiede aufzeigte (vgl. Abb. 3.5).

Mechanische Eigenschaften:

Der lose BRAM kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten konfektioniert werden. Bei der Pelletierung entstehen durch die Verpressung des ungetrockneten Ausgangsmaterials Weichpellets ("green pellets"), die zwar weniger Energieeinsatz für ihre Konfektionierung benötigen, aber auch eine geringere Schüttdichte, einen höheren Abrieb und bei einer zu hohen Feuchte keine biologische Stabilität aufweisen. In der Tabelle 6.3 sind die physikalischen Größen für die Konfektionierung dargestellt. Bei der Verpressung von losem, feuchtem BRAM zu Weichpellets kann das Schüttgewicht mit der Feuchte korreliert werden, so daß einzelne Messungen des Schüttgewichts zwischen 380 – 630 kg/m³ betragen und mit Feuchten zwischen 28 und 9 Gew.-% in Verbindung gebracht werden können.

Während die harten Pellets nach zweimaligem Umladen keine nennenswerten Zerfallserscheinungen aufweisen, können Weichpellets nach mehrmaligem Umladen stärker zerbröckeln. In einer Stichprobe betrug der Feinanteil frisch hergestellter Weichpellets am Kühlerausgang < 5 mm 1,5 Gew.-%. Nach dem zweimaligen Ausschütten des 16 m³-Behälters und dem Wiederbeladen mit dem Radlader betrug der Anteil < 5 mm 22,3 Gew.-%.

Analysen- und Brennstoffwerte:

In der Tabelle 6.4 sind die wichtigsten Analysedaten der BRAM-Pellets aus dem Großversuch März 1983 in Wien dargestellt. Da die Analysen besonders der Schwermetalle ganz erheblich schwanken können, wurde im Fachgebiet Luftchemie der TU-Berlin von Prof. K.E. Lorber nach verschiedenen Methoden eine große Anzahl von Analyseproben untersucht. Die in der Tabelle 6.4 gemittelten Werte ergeben sich aus 48 Einzelanalysen bei Pb und 33 Einzelanalysen bei den anderen Spurenelementen.

Da die Meßbegleitung des Großversuches in Wien über drei Tage ging, konnte festgestellt werden, daß starke Tagesschwankungen auftreten können. So hat z.B. Cd einen Höchstwert in einer Probe von 17,94 ppm (Tagesdurchschnitt 16,45 ppm), während an einem anderen Tag der niedrigste Wert bei 3,7 ppm lag (Tagesdurchschnitt 4,72 ppm). Ebenfalls starke Schwankungen sind bei den Cu-Werten festzustellen (höchster Tagesdurchschnitt 946,2 ppm – niedrigster Tagesdurchschnitt 180,5 ppm). Bei allen anderen Meßwerten sind mindestens 9 Messungen vorgenommen worden.

Biologische Stabilität:

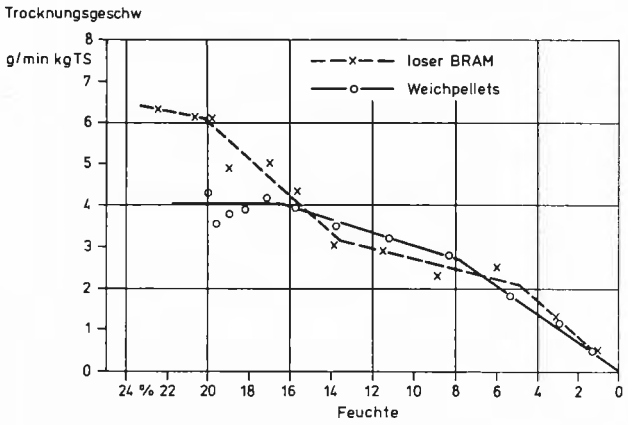
Bei der Lagerung von BRAM-Pellets mit einer Feuchtigkeit < 17 – 18 Gew.-% sind keinerlei biologische Umwandlungen beobachtet worden. Als Kontrolle wurde die Temperatur im Innern der Schüttungen von vollen 16 m³-Behältern gemessen. Erst oberhalb dieser Feuchtigkeitsgrenze kommt es zu einer biologischen Umsetzung mit Temperaturen

Tabelle 6.4
Die wichtigsten Analysedaten der BRAM-Pellets aus dem Großversuch im März 1983 mit Wiener Hausmüll

Parameter	Einheit	Anteil
1	2	3
1 H_u (16 % H_2O)	MJ/kg	16,5
2 H_o	MJ/kg	18,3
3 Schüttgewicht	kg/m³	440,0
4 Feuchte	Gew.–%	21,0
5 Asche	Gew.–% TS	20,1
6 Flüchtige	" "	68,8
7 C	" "	49,9
8 H	" "	6,4
9 N	" "	0,54
10 S	" "	0,43
11 Cl	" "	0,64
12 F *	" "	0,07
13 Cd *	ppm	8,85
14 Pb *	"	316,0
15 Cu *	"	456,7
16 Zn *	"	661,3
17 Cu *	"	465,7
18 Cr *	"	105,5

* Meßergebnisse nach Prof. K.E.Lorber, TU–Berlin

Abb. 6.1
Die Trocknungsgeschwindigkeit von losem und weich verpreßtem BRAM (Schüttgewicht: 450 kg/m³)



bis zu 80 Grad C. Um den BRAM biologisch zu stabilisieren, stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die Trocknung und chemische Zusätze.

Für Trocknungsversuche stand in Wien ein Trommeltrockner mit Rieseleinbauten zur Verfügung. Nach einem provisorischen Umbau konnten ca. 17 t/h durchgesetzt werden. Der spezifische Bedarf an Trocknungsenergie betrug 6,36 MJ/kg H_2O. Dieser hohe Energiebetrag müßte sich durch die Optimierung des Trockners auf ca. 5,0 MJ/kg H_2O senken lassen. Der Hauptnachteil eines Trommel- oder Kaskadentrockners bestand nicht so sehr im Energieverbrauch, sondern darin, daß die vorverpreßten Weichpellets komplett zerfielen, so daß eine Nachverdichtung unumgänglich wurde.

Eine zweite Trocknungsalternative besteht in einem Umbau eines Bandkühlers zum Typ eines Düsenbandtrockners. Die verpreßten Weichpellets können so wahlweise mit Heißluft getrocknet bzw. mit Kaltluft durch die luftdurchlässigen Förderbänder gekühlt werden. Im Trockenschrank wurde zur Abschätzung des Trocknungsverhaltens die Trocknungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Gutfeuchte für losen BRAM und für Weichpellets bestimmt. Für die Weichpellets ist die Knickpunktfeuchte bei 16 Gew.-% der Feuchte im Gut deutlich zu erkennen.

Neben einem sparsameren Trocknungsaufwand kann aufgrund der Untersuchungen auch auf eine zweite Pelletierung verzichtet werden, da die Weichpellets bei einer schonenden Trocknung weiter aushärten und widerstandsfähiger werden.

Da auch die billigste Trocknungsmethode ca. 3,9 MJ/kg H_2O an Energie benötigt und teure Anlagen (Brenner, Brennkammer, Brennstoffzuführung, Vorratsbehälter oder Gasstation, Rohrleitungen, Filter etc.) gebaut werden müssen, bietet es sich an, den Pellets bei der Pelletierung chemische Zusätze zuzugeben, um eine biologische Stabilität zu erreichen.

In Kombination mit Verbrennungstests wurde zuerst CaO als Zusatzstoff untersucht. Der Temperaturverlauf der in 16 m³-Containern gelagerten Weichpellets in Abhängigkeit von der CaO-Zugabe ist in der Abbildung 6.2 dargestellt.

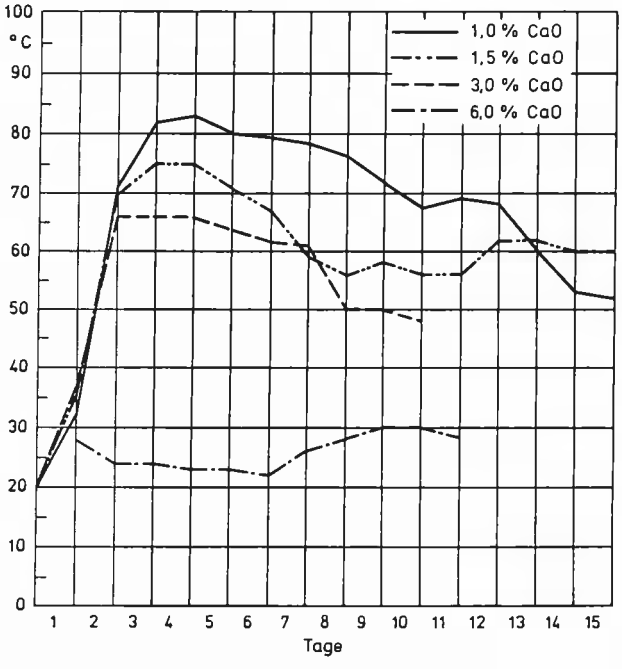
In einem zweiten Lagerversuch wurde Propionsäure ausgewählt. Die Propionsäure ist das dritte Glied in der homologen Reihe der Carbonsäuren und steht zwischen der Essig- und Buttersäure. In der Natur kommt die Propionsäure im Pansen von Kühen vor und dient der biologischen Stabilisierung des Mageninhaltes und verhindert die Gärung. Industriell wird die Propionsäure in der Futtermittelindustrie zur Konservierung von Futterpellets eingesetzt.

In dem Versuch wurden 0,3 Gew.-% und 0,5 Gew.-% Propionsäure bei der Pelletierung zugemischt. Der Temperaturverlauf der in 16 m³-Behältern gelagerten Weichpellets ist in Abbildung 6.3 in Abhängigkeit von der Zugabe der Propionsäure dargestellt. Wie die Kurven zeigen, haben die Zusätze eine deutliche Bremswirkung auf die biologische Umsetzung der Pellets. Ohne Zusätze sinkt die Temperatur entsprechend den Untersuchungen von Bagstam (3) erst nach ca. 140 Tagen unter die 30 Grad C-Grenze.

6.2 Kompostrohfraktion

Die Kompostrohfraktion beinhaltet nach der Zerkleinerung ca. 60 – 70 Gew.-% der mineralischen Bestandteile, des Glases und ca. 50 – 70 Gew.-% der Vegetabilien aus dem Ausgangsmaterial. Je nach Mühlencharakteristik und den benutzten

Abb. 6.2
Temperaturverlauf der gelagerten Weichpellets in Abhängigkeit von der Kalkzugabe (CaO)



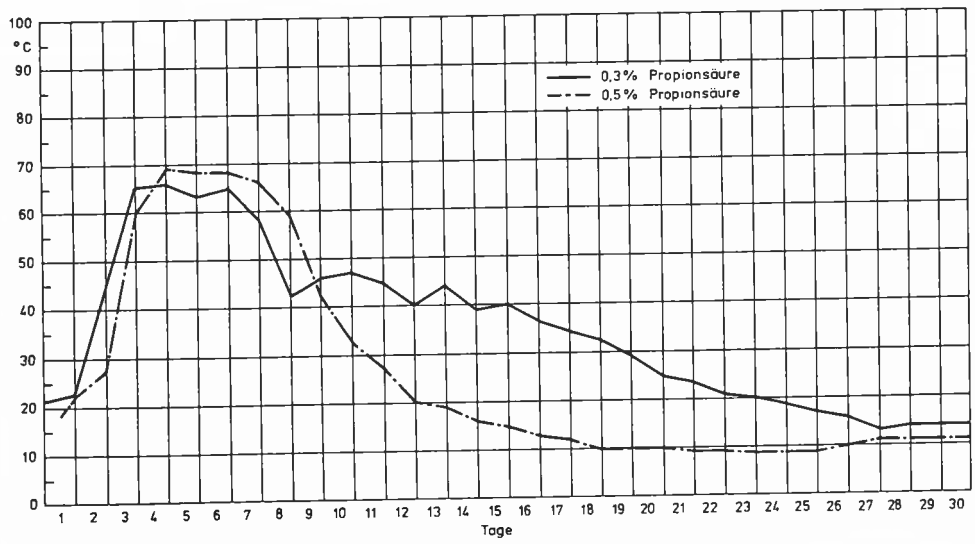


Abb. 6.3
Temperaturverlauf der gelagerten feuchten Weichpellets in Abhängigkeit von der Propionsäure-Zugabe

Lochweiten der nachgeschalteten Siebaggregate sind ca. 30 – 60 Gew.-% des Hausmülls in dieser Fraktion zu erwarten. Die restlichen Bestandteile in der Kompostrohfraktion setzen sich aus Papier, Pappen, Kunststoffen, Holz und Textilien zusammen.

In einem Großversuch zur Bestimmung der Schwermetalle und der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) in Abhängigkeit vom Rotteverlauf und der Korngröße des Rottegutes wurden 105,62 t Hausmüll aus dem 20. und 21. Bezirk der Stadt Wien mit einem Hammermühle zerkleinert und mit einem Trommelsieb bei 32 mm abgesiebt. Dabei konnten 60,08 t (56,88 Gew.-%) als Rohkompost gewonnen werden, der in einer weiteren Siebung mit dem Spannwellensieb in fünf Korngrößenklassen geteilt und zu Mieten aufgeschüttet wurde. Die Korngrößenklassen des Rohkompostes umfaßten 0-4 mm, 4-32 mm, 0-8 mm, 8-32 mm sowie 0-32 mm. In der Tabelle 6.6 sind die Nährstoffe und ab Zeile 13 die Probenelemente der Kompostrohfraktion (KRF) dargestellt. Die von Kümmlee durchgeführten Messungen wurden nach dem UBA-Aufschluß mit der AAS bestimmt.

Tabelle 6.6
Nähr- und Problemelemente der verschiedenen Korngrößenklassen der Kompostrohfraktion (KRF) beim Großversuch im Mai/Juni 1983 in Wien

Inhaltsstoffe		Korngrößenklassen der KRF (mm)				
		0 – 4	0 – 8	0 – 32	4 – 32	8 – 32
1		2	3	4	5	6
1 Glühverlust	Gew.–% TS	25,6	26,6	49,6	58,8	54,8
2 Feuchtigkeits–gehalt	Gew.–%	25,2	29,3	30,5	34,9	32,8
3 org.N	Gew.–% TS	0,58	0,61	0,98	1,12	1,04
4 $P_2 O_5$	Gew.–% TS	0,34	0,38	0,63	0,74	0,65
5 $K_2 O$	Gew.–% TS	0,23	0,32	0,38	0,36	0,34
6 CaO	Gew.–% TS	6,74	5,48	4,94	4,53	4,11
7 MgO	Gew.–% TS	1,25	1,15	1,02	0,85	0,91
8 Fe*	Gew.–% TS	8,52	8,52	7,07	5,78	7,07
9 Al*	Gew.–% TS	7,13	7,13	6,62	6,05	6,62
10 Mn*	ppm TS	431	361	367	360	367
11 Cu*	ppm TS	177	183	132	130	132
12 Zn*	ppm TS	727	727	662	658	577
13 Cd*	ppm TS	1,6	1,6	2,1	1,8	2,1
14 Cr*	ppm TS	56,5	56,5	67,7	76,9	67,7
15 Ni*	ppm TS	59,0	59,0	57,3	38,0	57,3
16 Pb*	ppm TS	815,0	1109,0	549,0	515,0	620,0

* Meßergebnisse nach G. Kümmlee, TU-Berlin

Eine Anreicherung der Problemmetalle in den unteren Korngrößenklassen, wie sie von Tabasaran (61) postuliert wird, ist besonders für Blei und Zink immer eindeutig gegeben, wie bereits andere Untersuchungen in Wien und Schweden gezeigt haben (vgl. dazu Kapitel 7.1). Um besonders im Feinbereich genauere Erkenntnisse zu erlangen, wurden aus der zerkleinerten Kompostfraktion 0 – 32 Proben gezogen und an der TU-Wien sowohl in einer Naß- als auch in einer Trockensiebung in mehrere Korngrößenklassen getrennt, auf ihre Schwermetalle hin untersucht und in der Tabelle 6.7 dargestellt. Aus dieser Tabelle wird die Tendenz, daß sich Schwermetalle in den unteren Korngrößenklassen anreichern, deutlich.

Bis auf Cadmium sind alle Stoffe tendenziell bis in die feinsten Korngrößenklassen stärker angereichert als im oberen Korngrößenbereich der Kompostrohfraktion.

In der folgenden Abbildung 6.4 ist der Temperaturverlauf für die Mieten 0 – 4 mm und 4 – 32 mm für den Großversuch in Wien 1983 dargestellt. Gemessen wurde die Temperatur in einer Tiefe von 1 und 2 m. Die Kompostierung wurde als natürlich belüftete Mietenrotte durchgeführt. Die Umsetzungen der Mieten werden in der Abbildung auf der Zeitachse dargestellt. Der Feuchtegehalt wurde während der Dauer des Versuchs für die Miete 4 – 32 mm zwischen 40 – 50 % und für die Miete 0 – 4 mm um 25 – 30 % gehalten.

Beide Mieten weisen in der Anfangsphase der Rotte eine niedrigere Temperatur im Mietenkern als in der Randzone auf, was an der größeren biologischen Aktivität am Mietenrand aufgrund der besseren Sauerstoffversorgung liegt. Deutlich wird aus dieser Abbildung auch die Bedeutung des organischen Gehaltes einer Kompostrohfraktion für den Kompostierungsverlauf. Da der Glühverlust mit 25,6 Gew.-% für die Miete 0 – 4 mm im Vergleich zur Miete 4 – 32 mm mit 58,8 Gew.-% sehr niedrig liegt, ist sowohl die Rottetemperatur niedriger und die Rottezeit insgesamt kürzer. Die Miete 0 – 4 mm hat bereits am 46. Tag (7. Rottewoche) ein Temperaturniveau unter 45 Grad C erreicht. Von diesem Zeitpunkt an ist auch der Glühverlust mit ca. 16,5 Gew.-% konstant und die Rotte abgeschlossen.

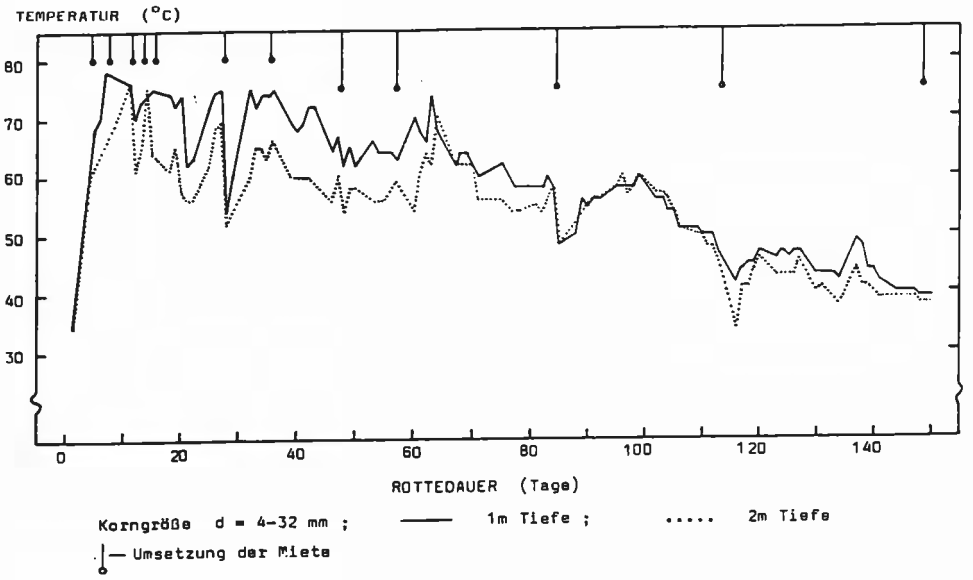
Die Miete 4 – 32 mm erreichte am 113. Tag (16. Rottewoche) eine Temperatur um 45 Grad C. Der Glühverlust blieb mit ca. 31,0 Gew.-% die nächste Woche konstant.

Für eine weitere Aufbereitung und die möglichen Einsatzgebiete des fertigen Kompostes ist es von großem Interesse, die Schwermetallkonzentrationen in Abhängigkeit von der Korngröße und ihr Verhalten im Rotteverlauf zu untersuchen. Aus den vielen Messungen der untersuchten Schwermetalle über den Rotteverlauf in Wien kann folgende Einteilung gemacht werden:

- Elemente, die in der Feinfraktion deutlich höhere Konzentrationen aufweisen. Dazu gehören Blei, Eisen und Mangan.
- Elemente,bei denen keine eindeutige Abhängigkeit der Metallkonzentrationen von der Korngröße zu beobachten war, wie bei Kupfer, Zink, Cadmium und Nickel.
- Das Element, das sich bevorzugt im Grobkorn befindet, ist Chrom. Die Konzentration ist in der

Tabelle 6.7
Verteilung der Schwermetalle im Kompostversuch Mai/Juni 1983 in Wien der Korngrößenklasse 0 – 32 mm

	Schwermetalle		Korngrößenklasse der KRF (mm)							
			<0,63	0,63–2	2–4	4–6,3	6,3–8	8–11,2	11,2–16	>16
	1		2	3	4	5	6	7	8	9
	Trockensiebung									
1	Ni	ppm TS	20	18	21	15	14	13	7	9
2	Cu	" "	110	90	60	70	60	110	50	40
3	Zn	" "	920	1050	450	450	440	410	470	420
4	Cd	" "	3	2	1	3	4	2	2	4
5	Pb	" "	780	390	280	360	440	390	360	210
6	Cr	" "	42	42	32	31	40	42	21	23
	Feuchtsiebung									
7	Ni	ppm TS	41	25	19	34	25	33	18	24
8	Cu	" "	210	90	70	80	70	70	80	330
9	Zn	" "	1100	680	580	710	640	400	640	800
10	Cd	" "	4	2	2	1	1	1	3	23
11	Pb	" "	1600	330	890	330	400	250	380	200
12	Cr	" "	41	25	19	34	25	33	18	24



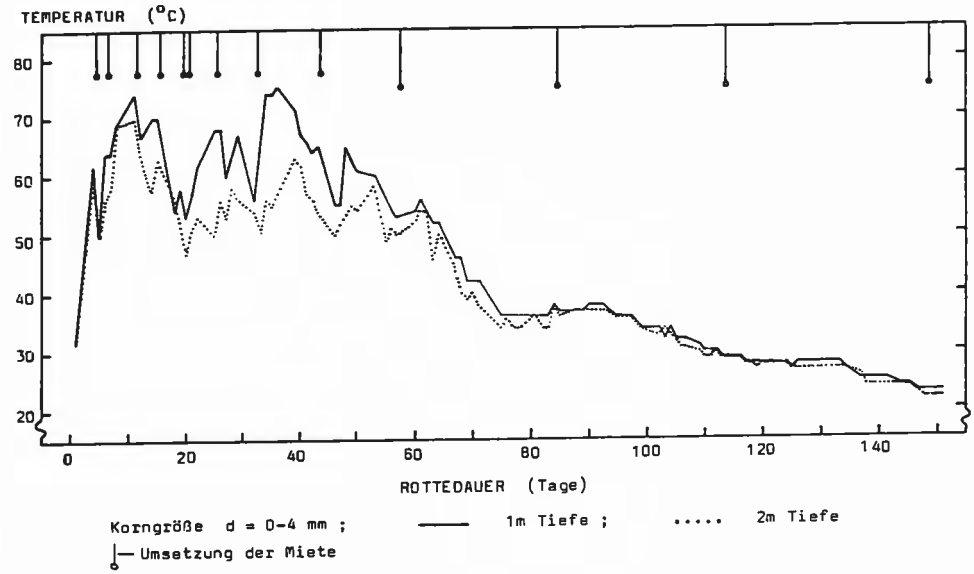


Abb. 6.4
Temperaturverlauf der Mieten 0 – 4 mm und 4 – 32 mm aus dem Kompostierungsversuch 1983 in Wien

Miete 4 – 32 mm ca. doppelt so hoch wie in der Korngrößenklasse 0 – 4 mm.

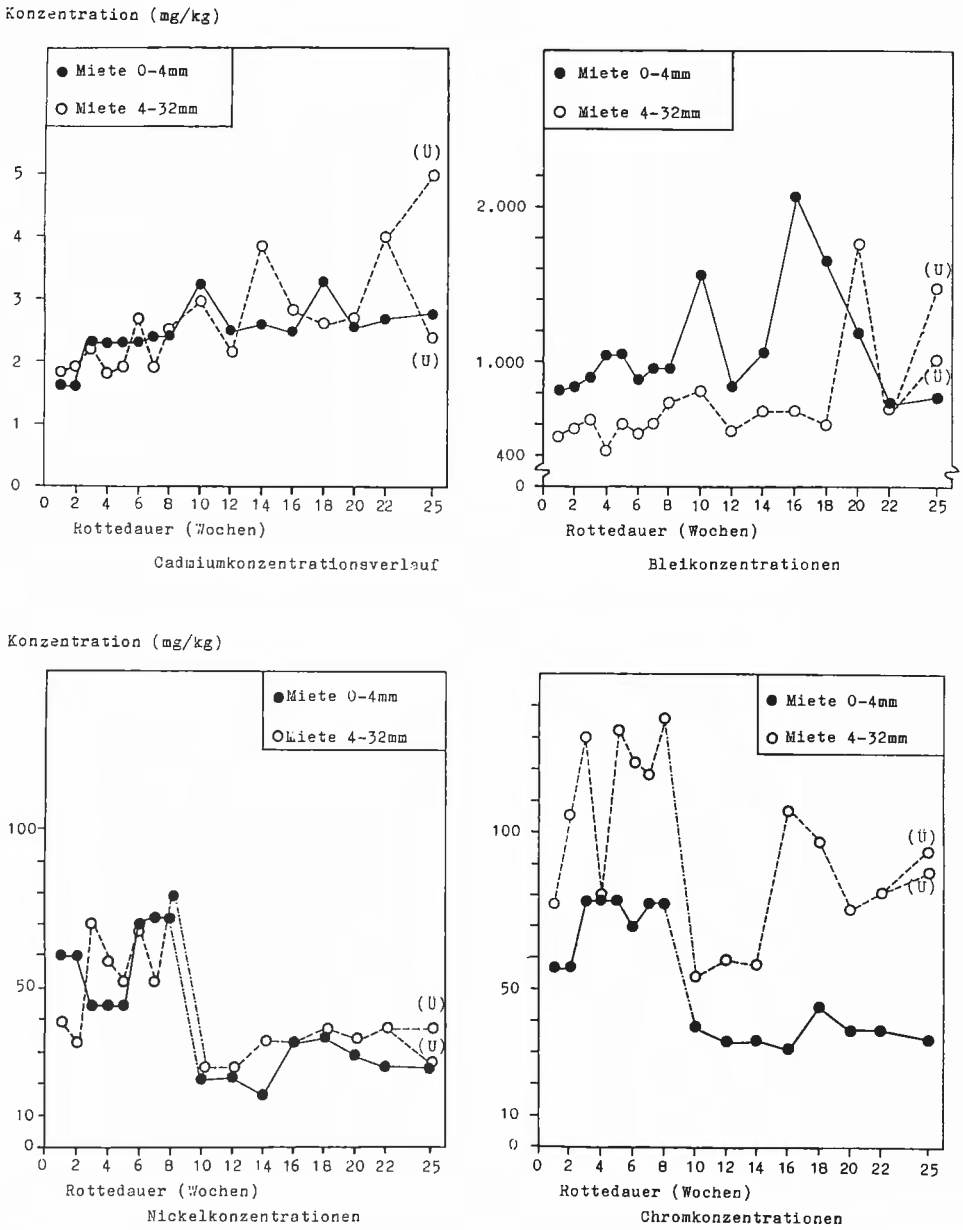
In der Abbildung 6.5 sind die Blei-, Nickel-, Chrom- und Cadmiumkonzentrationen in Abhängigkeit von der Korngröße und vom Rotteverlauf dargestellt. Der deutliche Konzentrationsabfall zwischen der achten und zehnten Woche ist dabei meßtechnisch bedingt. Aus den parallelen Untersuchungen von UBA- und Druckaufschluß konnte festgestellt werden, daß sich im Rotteverlauf schwerlösliche Verbindungen von Blei und Cadmium zu leichterlöslichen Verbindungen entwickelten. Entsprechend dem Charakter des UBA-Aufschlusses muß daher mit einer ansteigenden Kurve über den Rottezeitraum gerechnet werden.

Eine Möglichkeit, diesen Anstieg von leichter löslichen Blei- und Cadmiumverbindungen zu erklären, ist zur Zeit noch sehr schwierig. Es könnten aber Farbpigmente und Metallverbindungen sein, die sich im Rotteverlauf lösen und für die Messung besser verfügbar sind.

Aus der Abbildung 6.5 wird auch eine weitere Möglichkeit der Schadstoffreduzierung nach der Kompostierung deutlich. In der 25. Woche des Kompostierungsversuches wurden die Mieten mit den großen Korngrößen bei 8 mm mit einem Spannwellensieb gesiebt. In der Abbildung 6.5 wird der Konzentrationsunterschied für das Überkorn (Ü) und das Unterkorn (U) deutlich. Dabei ergaben ca. 50 Gew.-% < 8 mm einen Fertigkompost, indem der Anteil der Schwermetalle durch die Siebung nochmals – die Ausnahme bildet Blei – deutlich verringert werden konnte.

In der Tabelle 6.8 sind die Schwermetallwerte aus dem Kompostierungsversuch in Wien in der Zeile 1 – 3 dargestellt. Zusätzlich sind zum Vergleich die Mittelwerte von Heidenheim und die Versuchser-

Abb. 6.5
Blei-, Nickel-, Chrom- und Cadmiumkonzentration in Abhängigkeit von der Korngröße und vom Rotteverlauf über 25 Wochen beim Kompostierungsversuch 1983 in Wien (40)



gebnisse aus der "Grünen Tonne" Baienfurt und Witzenhausen den Grenzwerten vom Rems-Murr-Kreis gegenübergestellt.

Es wurden folgende polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) untersucht: Fluoranthen (Fl), Pyren (Py), Benzo(a)pyren (BaP), Benzo(b)chrysen (BbC), Benzo(ghi)perylen (BghiP), Perylen (Per), Anthanthren (An), Dibenzo(ah)anthracen (DBahA). In der folgenden Abbildung 6.6 werden die verschiedenen PAH über den gesamten Rotteverlauf der Korngrößenklasse 0 – 32 mm dargestellt.

Aus der Ausbildung wird sehr deutlich, daß die verschiedenen PAH mit dem Beginn des Kompostierungsvorgangs bis zur 6. und 7. Woche ansteigen. Von der 7. bis zur 24. Rottewoche nehmen die Gehalte aller untersuchten PAH wieder ab.

Auch unter Berücksichtigung der Rotteverluste liegen die Endkonzentrationen weit unter den Beträgen der 1. Woche (2- bis 5-fache). Die Zunahme der PAH-Gehalte in der 4.– 7. Woche (ca. Juli 1983) läßt auf einen exogenen Eintrag schließen. Die Erklärung dafür wäre, daß die Versuchsmieten am Rande von Wien lagen und in dem Monat erhebliche Ernterückstände (Stroh) in dem umliegenden Marchfeld verbrannt worden sind. Die bei einer unvollständigen Verbrennung von organischem Material entstandenen Polycyclen führen zu einer Erhöhung der PAH-Konzentration in der Umgebungsluft. Da es in den Wochen nicht geregnet hatte, sind die PAH an Stäuben adsorbiert und auf der Kompostmiete sedimentiert.

Bezogen auf die PAH-Konzentration der 6./7. Woche ist eine 3- bis 8-fache Abnahme je nach Substanz bis zum Ende der Rottelaufzeit festzustellen. Da die PAH aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit nicht ausgewaschen werden können, findet ein Um- und/oder Abbau der PAH statt.

Tabelle 6.8
Vergleich der Schwermetallgrenzwerte mit Kompostvergleichswerten aus der Recyclinganlage in Wien, Heidenheim und der "Grünen Tonne" (Baienfurt, Witzenhausen)

	Elemente	Nährelemente ppm TS			Problemelemente ppm TS				
		Cu	Fe	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Miete 0 – 4 mm	180,0	7075,0	456,0	730,0	2,8	34,5	23,9	745,0
2	Miete 4 – 32 mm	287,0	7350,0	448,0	855,0	4,0	81,0	36,8	705,0
3	Unterkorn Miete 4 – 32 mm	279,9	6025,0	400,0	1010,0	2,4	87,5	25,8	1475,0
4	Heidenheim (21)	286,0	–	–	1130,0	5,6	93,0	70,0	931,0
5	Grüne Tonne Baienfurt (21)	204	–	–	869	1,8	99	63	285
6	Grüne Tonne Witzenhausen (66)	33,0	–	–	166,0	1,0	–	59,0	21,0
7	Rems–Murr (Grenzwerte)	200	–	–	500	5	200	50	200

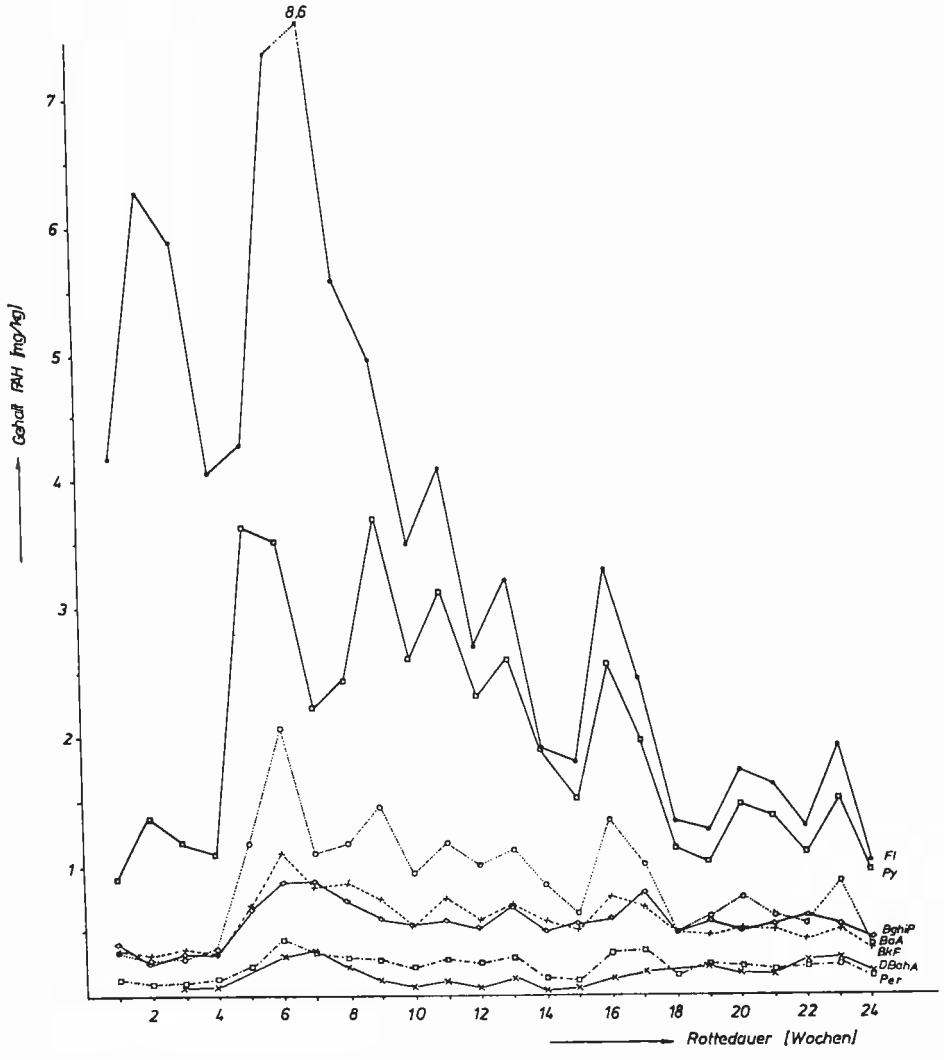


Abb. 6.6
Anteil der verschiedenen PAH über den Rotteverlauf für die Versuchsmiete 0 – 32 mm aus dem Kompostierungsversuch 1983 in Wien (40)

In der folgenden Abbildung 6.7 sind die verschiedenen PAH in Abhängigkeit von der Korngröße für die ersten acht Rottewochen dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, daß die verschiedenen PAH-Konzentrationen bei allen drei Korngrößenklassen einen einheitlichen Verlauf haben. Nur Fluoranthen (Fl) bildet für die Korngrößenklassen 8 – 32 mm und 0 – 32 mm die Ausnahme.

Wie bei den Schwermetalluntersuchungen bereits erwähnt, wurde zum Ende der Rottezeit in der 25. Woche der fertige Kompost bei 8 mm Lochweite abgesiebt. Wie die folgende Tabelle 6.9 zeigt, läßt sich der PAH-Gehalt im Kompost durch den Siebprozeß verringern. Bis auf Benzo(ghi)perylen (BghiP) sind alle anderen PAH zum Teil deutlich geringer in der Feinfraktion vertreten. Im unteren Teil der Tabelle sind die Ergebnisse von Hagenmaier (32) für den Rohmüll und Kompost der Stadt Heidenheim dargestellt. Es wird deutlich, daß die PAH-Konzentrationen in Wien niedriger sind als in Heidenheim, obwohl der von Kümmlee (40) in Berlin benutzte Aufschluß eher höhere Gehalte an PAH extrahiert als der von Hagenmaier.

Die Hauptursachen für den Unterschied können zum Beispiel an der jahreszeitlichen Abhängigkeit und an der eingesetzten Aufbereitungs- und Sortiertechnik liegen.

Abb. 6.7
Gehalt der verschiedenen PAH in den Mieten mit unterschiedlichen Korngrößenklassen für die ersten acht Rottewochen des Kompostierungsversuchs in Wien 1983 (40)

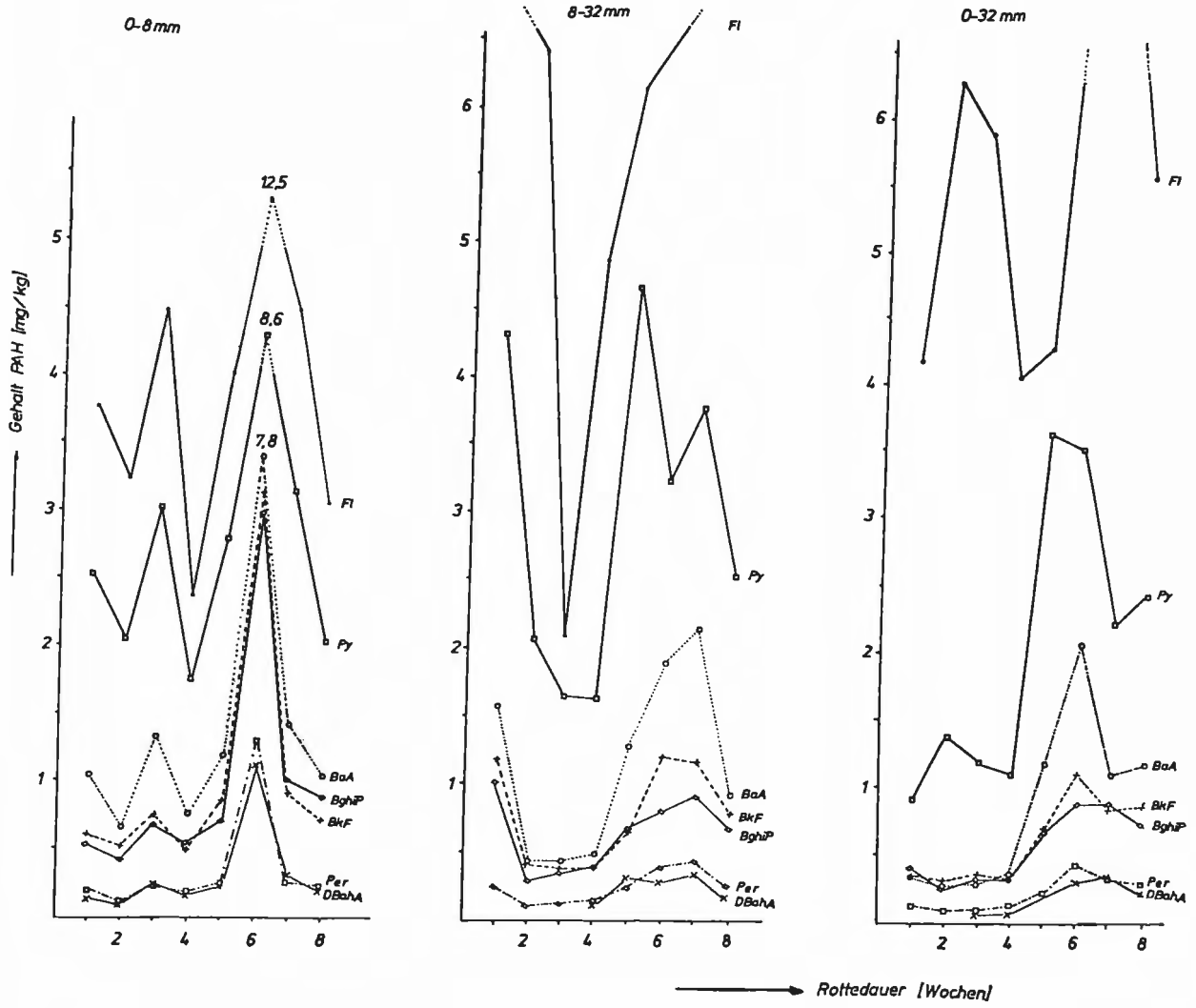


Tabelle 6.9
Die Verringerung des PAH-Gehaltes durch die Feinabsiebung des Kompostes beim Versuch in Wien und der Vergleich des PAH-Gehaltes mit Heidenheim

	Herkunft	PAH–Gehalt mg/kg								
		Fl	Py	BaA	BkF	BaP	Per	An	BghiP	DBahA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Wien									
1	Miete 0 – 31 mm	4,17	0,88	0,33	0,34	0,39	0,11	0,04	0,38	n.n.
2	5.Rotte–woche	4,27	3,61	1,16	0,68	0,80	0,20	0,07	0,67	n.n.
3	20.Rotte–woche	1,73	1,46	0,74	0,51	0,85	0,20	0,08	0,49	0,15
4	24.Rotte–woche	1,02	0,94	0,36	0,33	0,49	0,13	0,05	0,42	0,16
5	25.RW 0 – 8 mm	0,93	0,74	0,38	0,34	0,62	0,15	0,07	0,54	0,18
6	25.RW > 8 mm	1,38	1,53	0,62	0,43	0,78	0,19	0,07	0,47	0,19
	Heidenheim									
7	Rohmüll	15,80	–	–	2,61	2,96	–	–	3,10	–
8	Klär–schlamm	10,38	–	–	2,24	3,50	–	–	2,60	–
9	Vorrotte 5. Woche	5,97	–	–	1,71	1,91	–	–	1,94	–
10	Nachrotte 20. Woche	2,93	–	–	0,93	0,98	–	–	1,22	–

7. Schadstoff-, Material- und Energiebilanzen

7.1 Die Schadstoffverteilung durch den Sortierprozeß

In der DRAV Driftstudie (46) ist die Verteilung der Schwermetalle und des Chlors von fünf Anlagen nach der Zerkleinerung untersucht worden. In der Tabelle 7.1 sind die 8 Korngrößenklassen der fünf schwedischen Sortieranlagen bei zerkleinertem Hausmüll für die Schwermetalle und den Chlorgehalt zusammengefaßt dargestellt. Die Korngröße variiert von 6 bis 125 mm. Angegeben ist der Gehalt

Tabelle 7.1
Die verschiedenen Korngrößenklassen mit ihrem Gehalt an Schwermetallen und Chlor von fünf schwedischen Sortieranlagen für zerkleinerten Hausmüll (46)

		Korngrößenklassen (mm)								
Parameter		>125	80–125	50–80	25–50	17–25	10–17	6–10	< 6	Summe
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Anteil Gew.-%		7	10	11	17	7	12	8	28	100%
2 Trocken-substanz Gew.-%		81	70	69	60	55	51	51	56	60
3 Glührest Gew.-% TS		8	12	12	14	19	22	31	47	24
4 Zn	GH *	150	260	320	280	410	490	620	1000	520
—	GP *	8,5	18	24	29	16	30	25	160	310
	V *	2,7	5,8	7,8	9,3	5,1	9,7	8,1	51,5	100%
5 Cu	GH	22	35	55	39	70	40	48	79	52
—	GP	1,2	2,4	4,1	4,0	2,7	2,4	2,0	12	31
	V	3,9	7,8	13,2	13,0	8,8	7,9	6,5	39,0	100%
6 CR	GH	10	10	14	17	18	25	19	27	18
—	GP	0,56	0,70	1,0	1,7	0,70	1,5	0,78	4,2	11
	V	5,0	6,2	9,0	15,2	6,3	13,5	7,9	37,7	100%
7 Ni	GH	3,9	6,1	5,0	5,6	6,7	5,9	7,4	12	18
—	GP	0,22	0,43	0,38	0,56	0,25	0,36	0,30	1,9	4,4
	V	5,0	9,8	8,6	12,7	5,7	8,2	6,8	43,2	100%
8 Pb	GH	55	93	140	100	120	190	220	540	230
—	GP	3,1	6,5	11	10	4,6	12	9,0	85	140
	V	2,2	4,6	7,8	7,2	3,2	8,5	6,3	60,2	100%
9 Cd	GH	0,54	1,1	0,94	0,83	1,6	1,1	1,4	2,0	1,3
—	GP	0,031	0,077	0,071	0,083	0,060	0,067	0,057	0,31	0,76
	V	4,1	10,2	9,4	11,0	7,9	8,9	7,5	41,0	100%
10 Hg	GH	0,23	0,64	0,88	1,4	1,8	1,3	1,7	11	3,7
—	GP	0,013	0,045	0,067	0,14	0,069	0,080	0,070	1,7	2,2
	V	0,6	2,1	3,1	6,4	3,2	3,7	3,2	77,8	100%
11 Clges.	GH	3400	12000	4400	6300	6500	8400	12000	8400	7500
—	GP	190	840	330	630	250	510	490	1300	4500
	V	4,2	18,5	7,3	13,9	5,5	11,2	10,8	18,7	100%
12 Cl–	GH	1100	2700	2500	4300	5500	5500	5800	4800	4000
—	GP	62	190	190	430	210	340	240	750	2400
	V	2,6	7,9	7,9	17,8	8,7	14,1	10,0	31,1	100%

* GH = Gehalt der Korngrößenklasse mg/kg TS
GP = Bezogen auf die Gesamtprobe mg/kg
V = Verteilung bezogen auf den Gesamtschadstoffgehalt %

Tabelle 7.2
Schwermetallgehalt für BRAM und der Reduktionsgrad bezogen auf den Hausmüll im feuchten Zustand. Energiegehalt: BRAM 12 MJ/kg (67% TS), Hausmüll 10 MJ/kg (65% TS) (46)

Schwermetalle	BRAM		Hausmüll		Reduktionsgrad bezogen auf das	
	mg/kg	mg/MJ	mg/kg	mg/MJ	Gewicht	MJ
1	2	3	4	5	6	7
1 Pb	110,0	9,10	140,0	14,00	1,3	1,5
2 Cd	1,1	0,09	2,1	0,21	1,9	2,3
3 Co	2,3	0,19	3,4	0,34	1,5	1,8
4 Cu	48,0	4,00	130,0	13,00	2,7	1,5
5 Cr	34,0	2,80	31,0	3,10	0,9	1,1
6 Hg	0,6	0,05	3,2	0,32	5,3	6,4
7 Ni	8,7	0,72	17,0	1,70	2,0	2,4
8 Zn	240,0	20,00	820,0	82,00	3,4	4,1

in mg/kg TS der Korngrößenklasse und bezogen auf die Gesamtprobe im feuchten Zustand. Darunter ist die prozentuale Verteilung des jeweiligen Stoffes angegeben. Durch diese Tabelle wird deutlich, daß sich je nach Schwermetall zwischen 77 und 37 Gew.-% in der Fraktion < 6 mm befinden. Der Massenanteil in der Fraktion < 6 mm beträgt als Mittelwert der fünf Anlagen 28 Gew.-%.

Der Chloridgehalt ist, wie die Tabelle 7.1 zeigt, am höchsten in den untersten fünf Korngrößenklassen, was zum Teil auf das Kochsalz im Hausmüll zurückgeführt werden kann.

In der Zeile für den Gesamtchlorgehalt ist die korngrößenabhängige Verteilung nicht so gegeben. In dieser Spalte sind auch Hausmüllbestandteile wie Papier, PVC und Textilien mit enthalten, die Chlor vor allem in den oberen Korngrößenklassen anreichern.

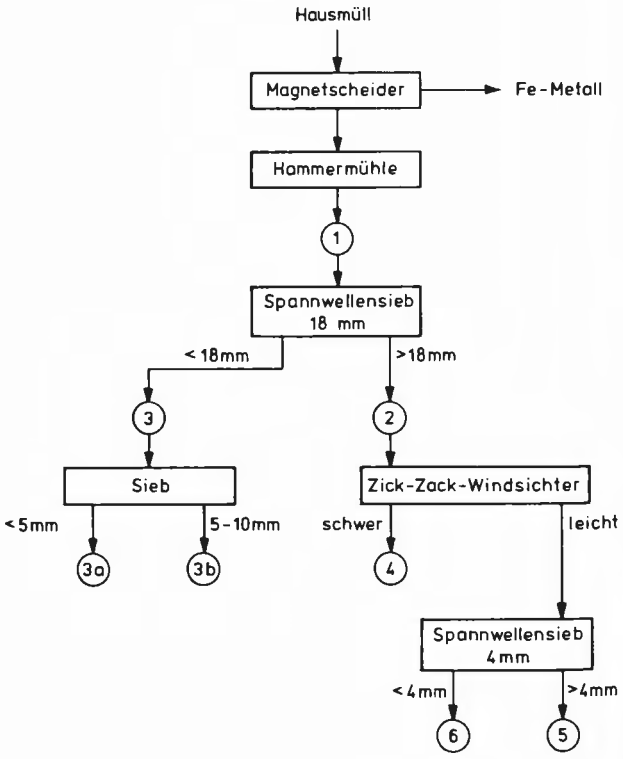
In der Tabelle 7.2 ist der Schwermetallgehalt von BRAM und der Reduktionsgrad bezogen, auf das Gewicht und den Energiegehalt des Hausmülls, für die Schwermetalle dargestellt. Die Berechnung basiert auf dem feuchten Zustand. Die höchsten Reduktionsraten werden bei Quecksilber, Zink und Kupfer erzielt.

Im Rahmen der Großversuche zur Sanierung der Recyclinganlage in Wien wurde im März 1983 in Wien versucht, eine Schadstoffbilanz über einen gesamten Sortierungsprozeß aufzustellen. In dem Versuch wurden über drei Tage ca. 40 Tonen Hausmüll verarbeitet und analysiert. Die wichtigsten Sortierschritte mit dem Probenahmeplan sind in der Abbildung 7.1 dargestellt.

Die umfangreichen meßtechnischen Maßnahmen, die für die Berechnung eines Mittelwertes bis zu 20 Messungen erforderlich machten, sind von Lorber bereits beschrieben worden (41,42).

In der Tabelle 7.3 sind die Ergebnisse des Großversuches über die drei (A,B,C) Tage im März 1983

Abb. 7.1
Die schematische Darstellung der Sortieranlage in Wien während des Großversuches im März 1983 und der Probenahmeplan zur Erstellung einer Schadstoffbilanz



1. Rohmüll zerkleinert ohne Fe-Metall
2. Überkorn >18mm
3. Kompostrohfraktion <18mm
3a. Kompostrohfraktion - fein <5mm
3b. Kompostrohfraktion 5-10mm
4. Windsichterschwerfraktion
5. lose BRAM-Fraktion
6. Feinkorn aus der Nachreinigung

Tabelle 7.3
Quantitative Ergebnisse des Großversuches (mg/kg TS) vom 1.3. – 3.3.1983 in Wien entsprechend dem Probenplan erstellt von Prof. K.E. Lorber, TU-Berlin

	A1	A2	A3	A3a	A3b	A4	A5	A6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Cd	12,34	20,2	8,94	5,9	6,7	28,74	4,72	4,42
2 Pb	429	544,4	958,5	1417	1008	417,0	478,3	1126,8
3 Cu	136	146,8	249,9	396	216	1426	180,5	228,5
4 Zn	956	660,7	1201	1333	1079	1435	701,1	1465,3
5 Cr	122	104,9	127,8	n.b.	n.b.	74,3	101,9	162,7
6 F(org)	101	74,0	63,0	27,0	77	102	67	42
8 Masse % i.roh	94,9	53,2	41,7	25,3	12,2	7,8	41,3	4,1

	B1	B2	B3	B3a	B3b	B4	B5	B6
9 Cd	11,12	12,78	5,37	8,33	13,3	n.b.	6,61	7,7
10 Pb	520,7	238,4	571,5	635	323,3	n.b.	275,8	678
11 Cu	3445,8	207,0	947,5	261,7	370	n.b.	215,4	420,6
12 Zn	1837	566,8	2067	2616,7	3600	n.b.	640,7	1408
13 Cr	157	132,6	117,5	125	163,3	n.b.	81,3	124,5
14 Masse % i.roh	94,8	57,7	37,1	24,2	10,4	10,4	41,6	5,7

	C1	C2	C3	C3a	C3b	C4	C5	C6
15 Cd	20,88	6,88	14,99	15	23	9,04	16,45	9,75
16 Pb	724,2	421,7	680,7	730	610	632,1	255,3	979,2
17 Cu	344,9	212,6	1317	310	2660	265	946,2	459,4
18 Zn	1295,5	1096,5	1616,5	1880	2220	1031	685,7	1711
19 Cr	97,0	70,3	98,9	250	120	48,5	82,4	89,6
20 Masse % i.roh	93,6	51,0	42,6	28,0	11,6	9,7	36,1	5,2

Tabelle 7.4
Die verschiedenen Aufbereitungsstufen der Recyclinganlage in Wien mit der gemessenen und berechneten Schwermetallbilanz entsprechend dem Probenplan

Schwer-metall	1	2	3	3a < 5mm	3b	4	5	6 < 4mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Cd								
mg/kg Ts	8,7	9,8	7,2	5,9	6,7	18,9	8,0	7,3
Gew.–%	100,0	64,5	35,5	18,5	9,3	21,4	38,7	4,4
2 Pb								
mg/kg TS	545	402	737	683	647	525	307	928
Gew.–%	100,0	42,1	57,9	34,2	14,3	9,5	23,6	9,0
3 Cu								
mg/kg TS	345	272	443	322,6	470	846	140	251
Gew.–%	100,0	45,0	55,0	25,5	16,4	24,1	17,0	3,9
4 Zn								
mg/kg TS	956	775	1198	1333	960	787	676	1528
Gew.–%	100,0	46,3	53,7	38,1	12,1	8,1	29,7	8,5
5 Cr								
mg/kg TS	108	103	115	99	142	150	89	126
Gew.–%	100,0	54,4	45,6	25,2	15,9	13,7	34,5	6,2
6 Masse								
% i.roh	94,5	54,0	40,5	25,8	11,4	9,3	39,7	5,0

angegeben. Alle Angaben sind Mittelwerte aus mindestens drei Messungen. Die Probe B 4 konnte bisher nicht untersucht werden. In der Zeile 8, 14 und 20 ist die jeweilige Gewichtsbilanz für den Tag angegeben.

Wie aus der Tabelle deutlich wird, sind trotz umfangreicher Messungen nur für einige Schwermetalle funktionierende Tagesbilanzen aufstellbar. Ausreißer bei Zn, Cu und Cd erschweren eine übersichtliche Bilanz. In der folgenden Tabelle 7.4 sind die gemessenen Extremwerte entfernt und eine Bilanz aufgestellt worden. Für jedes Schwermetall ist der Wert in mg/kg TS und der prozentuale Anteil, bezogen auf den Input im jeweiligen Prozeßschritt, angegeben.

Aus der Tabelle 7.4 wird sehr deutlich, daß die Kompostrohfraktion 3 durch ein Absieben bei 5 mm mit über der Hälfte der Schwermetalle entfrachtet werden kann. Auch die BRAM-Fraktion in der Spalte 2, die den Überlauf des Spannwellensiebes darstellt, kann durch eine Windsichtung 4 und eine anschließende Feinabsiebung bei 4 mm einen überproportionalen Anteil an Schwermetallen abgeben.

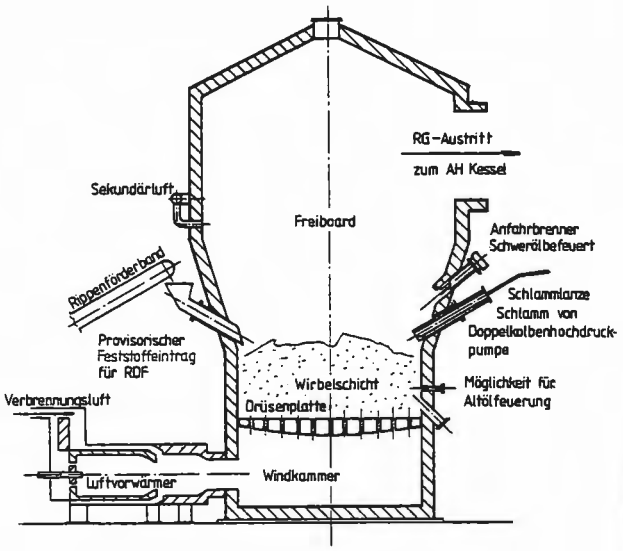
Durch entsprechende technische Veränderungen wie die Lochgröße bei Sieben und die Windgeschwindigkeit bei Windsichtern lassen sich Sortierprodukte wie BRAM und Kompost erzeugen, die zusammen ca. 60 – 70 % des Hausmülls ausmachen, aber in denen nur ca. 25 – 50 % des jeweiligen Schwermetalls aus dem Hausmüll enthalten ist.

Für den Einsatz als Brennstoff ist aufgrund der gasförmigen Emissionen Schwefel, Chlor und Fluor von Bedeutung. Fluor ist bisher erst einmal gemessen worden und findet sich in der Tabelle 7.3. In der Tabelle 7.5 sind der Chlor- und Schwefelgehalt und die Bilanz prozentual dargestellt. Durch den in Wien getesteten Versuchsaufbau konnte der Schadstoffgehalt um 55 % an Chlor und für Schwefel um 60 % im Endprodukt BRAM vermindert werden.

7.1.1 Emissionen durch die Verbrennung von BRAM

Es sind bereits eine Reihe von Untersuchungen in Europa durchgeführt worden, um die Emissionen bei der BRAM-Verbrennung zu bestimmen. Eine

Abb. 7.2
Aufbau des Wirbelschichtofens in Wien mit dem provisorischen Feststoffeintrag für BRAM (52)



umfangreiche Untersuchung wird zur Zeit vom BMFT und der EG gefördert, die von Bünsow und Dobberstein an der TU-Berlin durchgeführt wird. Bünsow und Dobberstein haben die Zusammensetzung der unterschiedlichen europäischen Brennstoffe aus Müll erstellt (15). In zwei Verbrennungsversuchen wurden die in der Recyclinganlage in Wien hergestellten Weichpellets in einem Wirbelschichtofen verbrannt und folgende Versuchsziele angestrebt.

Für den ersten Versuch, der vom 2. – 6.5.1983 stattfand, wurden Weichpellets hergestellt und auf ihre Eignung für den Einsatz im Wirbelschichtofen getestet. Für diesen Versuch wurden ca. 100 t produziert.

Der zweite Versuch mit ca. 150 t fand vom 16. – 18.11.1983 statt und sollte Aufschluß darüber geben, wie eine Schadstoffeinbindung durch Kalkzugabe möglich ist. Dazu wurden der Pelletierung CaO zugemischt und Pellets mit einem CaO-Gehalt von 1 %, 1,5 %, 3 % und 6 % hergestellt. Im zweiten Versuchsteil wurden dem Wirbelschichtbett Kalziumkarbonat in Form von Kalksplitt mit einem Anteil von 3,5 % und 7,5 % zugegeben.

Tabelle 7.5
Die gemessene und berechnete Chlor- und Schwefelbilanz für die verschiedenen Aufbereitungsstufen der Recyclinganlage in Wien entsprechend dem Probenplan

	1	2	3	3a	3b	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Cl ges.								
Gew.–%	0,68	0,69	0,66	0,62	0,73	0,76	0,72	0,30
%	100,0	58,0	41,6	24,9	13,0	11,2	44,5	2,3
2 S ges.								
Gew.–%	0,51	0,49	0,53	0,38	0,79	0,58	0,48	0,44
%	100,0	55,3	44,7	20,4	18,7	11,2	39,5	4,6

Tabelle 7.6
Analysedaten des Klärschlamms der Stadt Wien und der Weichpellets während des Versuchsbetriebes

	Parameter		Klärschlamm	Weichpellets
	1		2	3
1	Schüttgewicht	kg/m³	1035	426
2	Feuchte	Gew.–%	79,2	14,8
3	Flüchtige	% TS	76,9	67,5
4	Asche	% TS	25,4	16,6
5	H_o	MJ/kg TS	17,6	17,4
6	H_u	MJ/kg TS	16,3	16,2
7	C	% TS	39,5	43,5
8	H	% TS	5,77	5,60
9	N	% TS	4,10	0,54
10	S ges.	% TS	0,43	0,28
11	Cl ges.	% TS	0,07	0,35
12	F	% TS	–	0,07
13	Erweichungspunkt	Grad C	–	1150
14	Halbkugelpunkt	Grad C	–	1210
15	Fließpunkt	Grad C	–	1260

Der benutzte Wirbelschichtofen gehört zur EBS (Entsorgungsbetriebe Simmering) der Stadt Wien, die in zwei Wirbelschichtöfen den Klärschlamm der Stadt Wien mit Hilfe von Heizöl S verbrennt. Der Versuch wurde zusammen mit der EBS Wien, der Magistratsabteilung 22 der Stadt Wien und dem Ofenbauer, der Voest Alpine AG Linz, durchgeführt. In der Abbildung 7.2 ist der für den Versuch benutzte Wirbelschichtofen der EBS mit einer Wärmedauerleistung von 16 MW schematisch dargestellt. Der provisorische Feststoffeintrag für BRAM über ein Rippenförderband mit dem geöffneten Blindflansch ist in der Abbildung eingezeichnet. Die abgasseitigen Messungen fanden nach dem E-Filter und vor dem Schornstein statt. Eine Rauchgaswäsche ist in der Anlage nicht vorhanden.

Während der Verbrennungsversuche wurden ca. 20 BRAM- und Klärschlammproben auf ihre Zusammensetzung hin untersucht. In der Tabelle 7.6 sind Mittelwerte für die Analysen von Weichpellets und Klärschlamm angegeben.

In der Tabelle 7.7 sind die Mittelwerte der Emissionen der Verbrennungsversuche in der EBS-Wien

Tabelle 7.7
Mittelwerte der Emissionen des Verbrennungsversuchs mit BRAM-Pellets mit und ohne CaO (oder im Sandbett) im 16 MW-Wirbelschichtofen der Klärschlammverbrennungsanlage in Wien 1983

		Emissionen							
		Vol.–%(i.wf)		mg/Nm³ (i.roh,11 %O_2)				(i.wf) kg/h	
	Versuch	O_2	CO_2	CO	NO	Staub	HCl	SO_2	SO_2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Klärschlamm + Öl	8,6	9,4	20	52	17	51	735	19,6
2	Klärschlamm + BRAM	9,2	9,2	17	32	19	477	241	5,8
	Klärschlamm + Bram								
3	CaO 1 %	8,5	10,4	13	34	13	347	*	*
4	CaO 1,5 %	8,1	10,5	18	24	31	334	46	1,4
5	CaO 3,0 %	8,2	10,4	59	41	21	359	94	2,3
6	CaO 6,0 %	7,6	10,8	27	57	21	343	152	4,6
	Klärschlamm + BRAM Kalksplitt								
7	3,6 %	9,4	9,5	36	54	28	409	n.b.	n.b.
8	7,5 %	8,8	10,3	24	50	24	461	n.b.	n.b.

n.b Fehlmessungen
* Zusatzfeuerung mit Öl war notwendig

mit Klärschlamm und Weichpellets mit und ohne Kalkzugabe dargestellt. Alle Meßwerte auf der Basis mg/Nm³ sind auf feuchtes Abgas bei 11 % O_2 bezogen (Ausnahme SO_2). Während des Versuchs gab es zum Teil erhebliche Schwankungen, die bei der Angabe von Mittelwerten nicht so deutlich werden.

Durch die provisorische Beschickung konnte die BRAM-Aufgabe nicht konstant gehalten werden, so daß der Wert stark um die geplante BRAM-Aufgabemenge von 3000 kg schwankt. Durch den offenen Eintrag wurde ebenfalls Falschluft eingetragen. Gleichzeitig konnten die Feuerraumtemperaturen weniger genau gesteuert werden als bei den Referenzversuchen mit Klärschlamm. Bei den Versuchen mit Klärschlamm lag die Feuerraumtemperatur im unteren Bereich zwischen 810 – 820 Grad C und im oberen Bereich bei 850 – 900 Grad C. Im Pellet-Betrieb lagen die Temperaturen um ca. 100 Grad C höher und erreichten im Freiboard in der Spitze sogar 1100 Grad C.

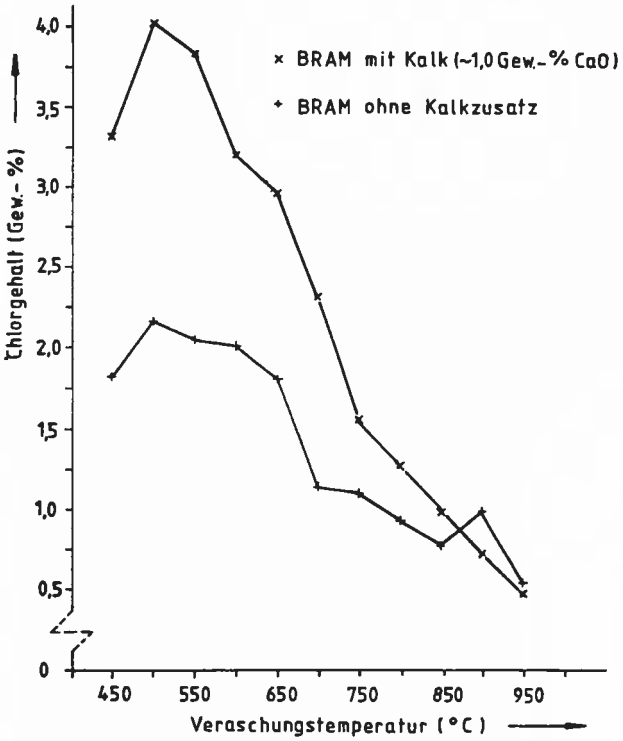
Die Verbrennungsversuche im Wirbelschichtofen der Stadt Wien haben gezeigt, daß die Weichpellets ohne Probleme im Wirbelschichtofen mit Klärschlamm zusammen verbrannt werden konnten. Ab einer Zugabe von ca. 1000 kg BRAM/h wurden die Stützbrenner mit Heizöl ausgeschaltet. Die Dampfproduktion betrug im Mittel 15 t Dampf/h.

Auf der Emissionsseite steigen HCl-Werte bei einem Einsatz von BRAM, während die SO_2-Werte fallen. Durch die Zugabe von CaO bei der Herstellung der Pellets lassen sich die HCl-Emission um ca. 30 % und die SO_2-Emission um ca. 50 % senken. Die Zugabe von Kalksplitt in das Wirbelbett des Ofens war weniger erfolgreich. Aus dieser Tabelle wird auch deutlich, daß die Auflagenwerte der TA-Luft durch die Zugabe von Kalk bei der Pelletierung allein nicht erreicht werden können. Erst durch einen nachgeschalteten Tuchfilter lassen sich, wie erste orientierende Versuche gezeigt haben, nach der Bildung einer Adsoprtionsschicht auf dem Filtertuch Reingaswerte um 40 – 45 mg/Nm³ HCl erreichen.

Welchen Einfluß die richtige Temperaturführung in der Feuerung haben kann, wird hier in der Untersuchung von Müller (47) in der Abbildung 7.3 dargestellt. In der Abbildung 7.3 ist die Chloreinbindung bei BRAM aus Wien mit 1 % CaO und ohne Zusätze in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Niedrige Feuerraum- oder Pyrolysetemperaturen setzen geringere Chlormengen frei.

In einer Verbrennungsuntersuchung in Zusammenarbeit mit der PLM, dem Institut för Vatten- och Luftvardsforskning (IVL) und der SYSAV in Malmö wurden Pellets der PLM in der Müllverbrennungsanlage in Malmö verbrannt und die Ergebnisse der Müllverbrennung gegenübergestellt (43). In der Tabelle 7.8 sind die organischen Emissionen aus dem Verbrennungsversuch zusammengestellt. Insgesamt wurden 44 PAH identifiziert, von denen nur die wichtigsten hier aufgelistet sind.

Abb. 7.3
Die Einbindung von Chlor in der Asche von BRAM mit und ohne CaO-Zusatz bei unterschiedlichen Veraschungstemperaturen mit Pellets aus EWien (47)



Aus diesen Untersuchungen wird deutlich, daß sich der gesamte organische Gehalt in den Emissionen beim Einsatz von BRAM erheblich verringern läßt. Während bei den PAH eine entscheidende Absenkung bei der Umstellung auf BRAM erfolgt, ist eine eindeutige Verringerung der Chlorbenzole und -phenole nur bei der Verbrennung von zwei Drittel BRAM und einem Drittel Holzhackschnitzel gegeben.

7.1.2 Schadstoffwirkung durch Kompost

Die öffentliche Diskussion über die Schadstoffe, hier vor allem die Schwermetalle, im Hausmüllkompost haben vor ca. 15 Jahren den Ausbau von neuen Kompostierungsanlagen in Deutschland gestoppt. Da vor allem die Schwermetalle nur zum Teil durch technische und organisatorische Maßnahmen aus dem Fertigprodukt Kompost herausgehalten werden können, sind die Bemühungen, einheitliche Meßmethoden und Grenzwerte festzulegen, für den weiteren Einsatz von Kompost von besonderer Bedeutung.

Dabei werden diesen Normen (Ö-Norm 2022, Richtwerte der Landkreise und der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) für die Schwermetalle Meßmethoden zugrunde gelegt, die aus ökologischer Sicht irrelevant sind.

Tabelle 7.8
Die organischen Emissionen aus dem Verbrennungsversuch mit Brini-Pellets in Malmö (43)

		µg/Nm³ bei 10 % CO_2					
	Emissionen	Müll	BRAM (Brini)				+ 30% Holz
	1	2	3	4	5	6	7
1	PAH–Summe	2590	675	15	12	32	< 1
2	2–Metylnaphtalen	20	7	0,6	<0,02	0,3	<0,04
3	1–Metylnaphtalen	21	7	0,4	<0,02	0,4	<0,04
4	Biphenyl	47	12	0,8	0,5	2	<0,04
5	Dibenzofuran	33	8	0,8	1	3	<0,04
6	Fluoren	38	9	0,2	0,1	0,5	<0,04
7	Phenanthren	420	124	2	3	10	<0,04
8	Anthracen	36	6	0,09	3	10	<0,04
9	Fluoranthen	247	84	3	2	6	<0,04
10	Pyren	315	110	3	2	5	<0,04
11	Benzo(a)anthracen	32	4	<0,02	<0,02	<0,06	<0,04
12	Benzo(bk)fluoranthen	26	11	<0,02	<0,02	<0,06	<0,04
13	Benzo(e)pyren	17	7	<0,02	<0,02	<0,06	<0,04
14	Benzo(a)pyren	14	1	<0,02	<0,02	<0,06	<0,04
15	Benzo(ghi)perylen	37	12	<0,02	<0,02	<0,06	<0,04
16	Chlorbenzole	16,4	16,0	10,6	21,4	17,3	11,4
17	Chlorphenole	29,4	14,4	11,5	29,0	18,1	9,5

Um ökologisch reale Daten über den Verbleib und die Wirkungsweise von Schwermetallen im Kompost bzw. mit dem Boden zusammen zu erhalten, müssen fraktionierte Analysen durchgeführt werden, die folgende Informationen liefern:

1. Fraktion I – Die wasserlöslichen Stoffe
   Bestimmung der Anteile und Substanzen, insbesondere Schwermetalle, die durch Wasser (Regen, Sicker- oder Grundwasser) verfrachtet werden.

2. Fraktion II – Die austauschbaren adsorbierten Ionen
   Bestimmung der Anteile, die zwar einer einfachen Verfrachtung durch Wasser widerstehen, aber "austauschbar" am Kompost- bzw. Bodenmaterial gebunden und für die Pflanze verfügbar bleiben und verzögert in den biologischen Kreislauf treten.

3. Fraktion III – Die nachlieferbaren Reservestoffe
   Bestimmung der Anteile, die weder direkt verfrachtbar noch pflanzenverfügbar sind, aber im Zuge zukünftiger über Jahre andauernde Verwitterungs- bzw. Mineralisierungsprozesse frei werden und damit wieder in den biologischen Kreislauf gelangen können.

4. Fraktion IV – Der Gesamtgehalt
   Die Bestimmung des Gesamtgehaltes abzüglich der Gehalte aus den Fraktionen I – III ergibt die Anteile, die so stark bzw. in unlöslicher Form gebunden sind, daß nach menschlichen Erwägungen selbst nach Jahrhunderten eine Freisetzung nicht erfolgen kann.

Die derzeit üblichen Analysenmethoden erfassen in einer einzigen Ziffer den Gesamtgehalt (Fraktion IV) eines Schadstoffes, ohne damit irgend eine Information über seine Wirksamkeit für die Umwelt mitzuliefern. Es erscheint erstaunlich, daß es aus der wissenschaftlichen Betrachtungsweise bisher niemanden gestört hat, daß z.B. Quecksilber in Form von Amalgam in aller Leute Munde vorhanden und ungefährlich ist, während die Plombe, die über den Abfall in den Kompost gelangt und analysiert wurde, gefährlich sein soll. Das gilt auch für Reißzwekken, Büroklammern, Kupferdrähte etc., die alle in Form von kleinen Teilchen im Kompost vorhanden sind, aber in den nächsten tausend Jahren nicht über die Pflanzen in die Nahrungskette gelangen können.

Neben dieser eindimensionalen Sichtweise über die Schadstoffe im Kompost kommt noch hinzu, daß der Boden vor einer Kompostapplikation nur unzureichend untersucht wird. Die meisten Nähr-, Spurenelemente und Schwermetalle im Kompost können ebenso nützlich wie schädlich wirken. Dies ist allerdings nur in Relation zu dem aufnehmenden System, also dem jeweils zu behandelnden Boden zu beurteilen. Allgemein gültige, schematische Grenzwerte sind daher nicht zielführend, sondern müssen in Bezug auf das ökologische System betrachtet werden.

Blei wird in seiner Gefährlichkeit im Boden weitgehend überschätzt. Da es in den meisten Fällen

Tabelle 7.9
Die fraktionierte Analyse von Kompost aus der Recyclinganlage in Wien vor der Applikation im Weingarten im Juni 1983 (34)

	Merkmal	Dimension	Wert
1	TS	%	62,800
2	H_2O	%	37,200
3	pH(H_2O)		7,230
4	pH(KCl)		7,720
5	$CaCO_3$	%	15,640
6	C	%	14,600
7	AOS	%	27,010
8	GV	%	33,500
9	N(Kj)	%	0,915
10	N(tot)	%	0,915
11	N(org)	%	0,895
12	C/N(tot)		15,956
13	C/N(org)		16,313
14	eL(1:5)	mmS/cm	14.256

	Merkmal	Dimension (g TS/ml)	H_2O I 1 : 5,37	LiCl II	HCl(5n) III	Königswasser IV
15	Ca	mg/100g TS	205,880	836,880	7.460,000	7.530,000
16	Mg	mg/100g TS	99,530	177,630	947,000	1.350,000
17	K	mg/100g TS	4,050	342,410	580,000	585,000
18	Na	mg/100g TS	567,510	567,510	568,000	569,000
19	N(NH_4)	mg/100g TS	11,910	19,800	------	------
20	Fe	ppm TS	181,070	326,870	4.252,000	20.700,000
21	Mn	ppm TS	8,892	23,072	335,000	470,000
22	Cu	ppm TS	6,573	10,723	128,000	147,000
24	Zn	ppm TS	22,108	37,418	761,000	949,000
25	Co	ppm TS	0,527	1,157	2,980	17,000
26	Mo	ppm TS	1,398	2,908	7,570	25,000
27	B	ppm TS	10,310	19,280	50,400	74,000
28	Cr	ppm TS	1,306	2,466	18,900	206,000
29	Ni	ppm TS	2,501	6,131	32,100	33,000
30	V	ppm TS	1,990	4,710	36,700	78,000
31	Al	ppm TS	140,420	273,890	3.451,000	9.940,000
32	Si	ppm TS	154,090	456,220	1.674,000	------
33	As	ppm TS	2,937	2,937	3,000	3,100
34	Pb	ppm TS	10,970	21,880	616,000	727,000
35	Cd	ppm TS	0,253	0,403	1,790	7,000
36	Hg	ppm TS	------	------	------	------
37	Cl	mg/100g TS	1.800,000	------	------	------
38	SO_4	mg/100g TS	818,000	------	------	------
39	PO_4	mg/100g TS	22,680	41,490	524,000	573,500
40	SiO_3	mg/100g TS	417,280	1.235,440	4.533,190	------
41	N(NO_3)	mg/100g TS	0,000	------	------	------

schwer beweglich ist, kommt es unter bestimmten Voraussetzungen gar nicht bis zum organischen Material, das von Menschen und Tieren konsumiert wird. Cadmium bleibt dagegen auch im Boden sehr beweglich und kann von einer Pflanze in größeren Mengen problemlos aufgenommen werden, wobei die Pflanze selbst kaum geschädigt wird. Erst bei der Nahrungsaufnahme von Menschen und Tieren kann Cadmium über die Pflanze aufgenommen z.B. die Fermentbildung ersetzen und so tödliche Fehlsteuerungen im Enzymsystem bewirken.

In der Tabelle 7.9 ist der fertige Kompost aus der Wiener Recyclinganlage nach der fraktionierten Analyse von Prof. G. Husz an der Universität für Bodenkultur in Wien untersucht worden. Auffällig ist, daß der gesamte mineralische Stickstoff als NH_4 vorlag, der allerdings mehr als zur Hälfte wasserlöslich und nicht adsorptiv gebunden war. Dies läßt darauf schließen, daß die Kompostmiete im Probenahmezeitraum unter gebremster Sauerstoffzufuhr in der Form vor sich gegangen sein muß, daß sie zwar aerob war, aber das Bestehen von fakultativ anaeroben Vorgängen bzw. Mikroorganismen nicht ausschloß. Daher lag auch ein Teil der Schwefelverbindungen noch in Sulfidform vor (die Hauptmenge als Sulfat 735 – 830 mg/100 g TS).

Die Salzbelastung ist, ausgedrückt in der elektrischen Leitfähigkeit 14,26 mS/cm, sehr hoch, was je nach Wassergehalt 4 – 6 % Salze, bezogen auf die Trockensubstanz, bedeutet, und das ist etwa das 20-fache von normalen Böden.

Die Hauptmenge der löslichen Elektrolyte besteht aus Ca-, Mg- und Na-Salzen der Chloride und Sulfate. Als störend muß lediglich das NaCl angesehen werden. An Spurenelementen bzw. Schwermetallen überwiegt bei weitem das Fe gefolgt von Zn. Die als unerwünscht anzusehenden Elemente Cr, Ni, V, As, Pb, Cd und Hg sind bis auf Hg in gut meßbaren Mengen in wasserlöslichen und pflanzenaufnehmbaren Formen vorhanden. Dies gilt vor allem für das am stärksten vertretene Blei. Die unmittelbar pflanzenverfügbare Menge beträgt zwischen 0,5 – 10,97 mg/kg Trockensubstanz. Ob aber hier die Gefahr einer toxischen Anreicherung besteht, wird auf den zu behandelnden Boden und die Applikationsmenge ankommen.

Ziel der Untersuchung im Jahre 1983 in Wien war es, den analysierten Kompost auf einem untersuchten Boden im Weingarten gezielt einzusetzen und die Reaktion des Bodens und der Pflanzen meßtechnisch nach den Prinzipien der Ökosystemtechnik über einen gewissen Zeitraum zu begleiten. In der Tabelle 7.10 ist die chemische Bodenanalyse der Nullparzelle in einem Soll-Ist-Vergleich dargestellt.

Der Ist-Wert ist für die Feldfläche und auf eine Profiltiefe von ca. 50 cm bezogen. In der ersten Zeile beinhaltet der Ist-Wert die Analysenergebnisse der Fraktion I und II. In der zweiten Zeile ist die Differenz zwischen Ist-Wert und einem als optimal berechneten Soll-Wert dargestellt. Bei schädlichen Eigenschaften ist ein Minus günstig (z.B. elektri-

Tabelle 7.10
Chemische Bodenanalyse im Soll-Ist-Vergleich beim Kompostanwendungsversuch im Weingarten in Wien 1983 – Darstellung der Nullparzelle (34)

	pH H_2O	pH	eL	KA %	$CaCO_3$ %	T" mek	V %	Ca %T"	Mg %T"	K %T"	Na %T"	H %T"	Fe %T"	Mn %T"	Cu %T"	Zn %T"	Al %T"
Ist-Wert:	7,5	7,6	994	63,7	0009	11,5	100,0	87,3	8,3	4,0	0,2	0,0	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00
Ist-Soll:	-0,3	+0,6	+544	-11,3		-8,4	+2,0	+6,3	-3,6	+1,9	-1,7	-2,0					

a) Nährstoffversorgung - Ertragsdüngung:

(kg/ha)	Ca	Mg	K	Na	$N(NH_4)$	$N(NO_3)$	PO_4	SO	Cl	HCO_3	FT	N(v)	P_2O_5	K_2O
Ist-Wert:	5662	330	661	58	17	224	297	234	118	0	--	241	222	797
Ist-Soll:	+5504	+294	+287	+--	+--	+ 14	+190	+225	+---	+-		+31	+142	+346

(kg/ha)	Fe	Mn	Cu	Zn	Co	Mo	Al	Cd	Cr	Ni	As	Pb	Si	B
Ist-Wert:	0,53	0,14	0,35	1,54	0,95	0,04	0,2	0,47	0,54	0,43	14,75	2,17	48,9	2,65
Ist-Soll:	-2,45	-0,34	-0,18	+1,09	+0,74	-0,26	-3,4	+0,46	+0,48	+0,28	+14,65	+2,16	+44,9	+2,20

Ist-Werte bezogen auf 50 cm Tiefe

b) Meliorationsdüngung:

Kalk	($CaCO_3$):	0 kg/ha
Gips	($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$):	0 kg/ha
Magnesium	(MgO):	382 kg/ha
Kalium	(K_2O):	0 kg/ha

sche Leitfähigkeit). Bei der Nährstoffversorgung werden die Stoffmengen in kg/ha angegeben und mit den für einen bestimmten Ertrag nötigen Mengen verglichen. Plus bedeutet auch hier ein mehr als nötig, während Minus ein zu wenig anzeigt. Die Ziffer selbst gibt an, um wieviel kg/ha zu viel oder zu wenig für ca. 1 Jahr vorhanden ist.

Aus der Tabelle 7.10 wird deutlich, daß unser Versuchsfeld bei der Messung im Mai 1983 stark mit Stickstoff, Phosphor und Kali überdüngt war und keiner Düngung mehr bedurfte. Es herrscht aber Disharmonie am Sorptionskomplex: Der Magnesiumanteil liegt zu niedrig (8,3 % vom T-Wert) und Kalium über dem Optimum. Bei der Nährstoffversorgung ist ein erheblicher Mangel an Fe, Mn und Cu zu verzeichnen, die sich durch Chlorose an den Pflanzen bemerkbar macht.

Bemerkenswert erscheint auch der hohe Gehalt an pflanzenverfügbaren Schadstoffen im Boden, die vor allem durch Dünge- und Pflanzenschutzmittel in den Boden gelangt sein müssen, da weder große Straßen noch Industrien in der Nähe des Weinfeldes (Bad Pirawarth) zu finden sind. Die durch Wachstumstests abgesicherte Beurteilung zur besseren Dosierung der Versuchsfelder wurde mit einer Applikation von 40 t/ha Kompostmaterial berechnet. Bei dieser Zugabe tritt aufgrund der hohen Grundbelastung des Bodens bei allen pflanzenverfügbaren Schadstoffen durch die Kompostzugabe eine Verdünnung ein. Erst bei einer Applikation von ca. 1000 t Kompost/ha würde der Gehalt von Cd und As, von ca. 500 t Kompost/ha der Gehalt an Cr und Ni und von ca. 100 t Kompost/ha der Gehalt an Pb im Boden bis zu einer Bodentiefe von 50 cm erhöht werden.

Als limitierender Faktor für die zu applizierende Kompostmenge wird der Bleigehalt festgelegt. In der Abbildung 7.4 wird der Mittelwert der Frischmassebildung aller Parzellen von Kresse für den Unter- und Oberboden in Abhängigkeit von der Kompostmenge dargestellt. Der Oberboden reagiert bis zu 20 t/ha eindeutig positiv, der Unterboden (Hauptwurzelbereich der Rebe) bis 160 t.

Abb. 7.4
Mittelwerte aller Parzellen der Frischmassebildung von Kresse im Wachstumstest getrennt nach (a) Ober- und (b) Unterboden in Abhängigkeit von der Kompostzugabe

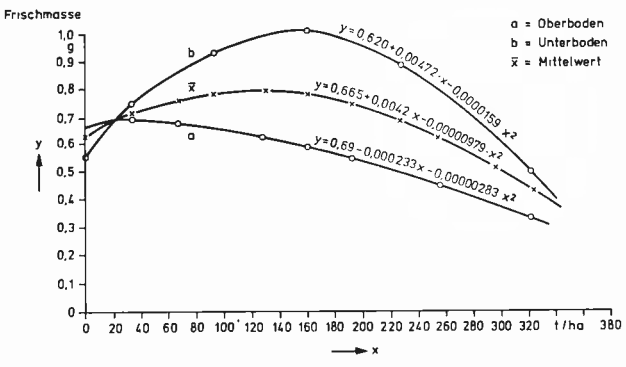
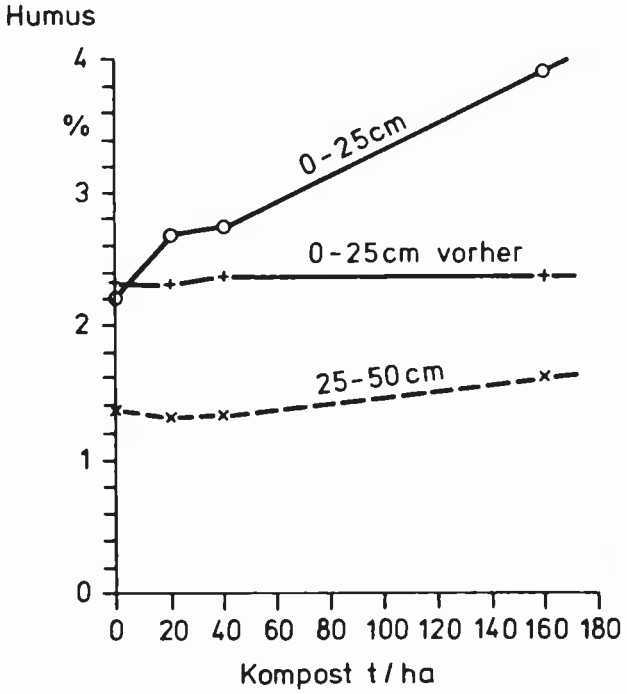


Abb. 7.5
Der Anstieg des Humusgehaltes in Abhängigkeit von der Kompostzufuhr für den Ober- und Unterboden und der Humusgehalt der Versuchsparzellen vor der Kompostzugabe

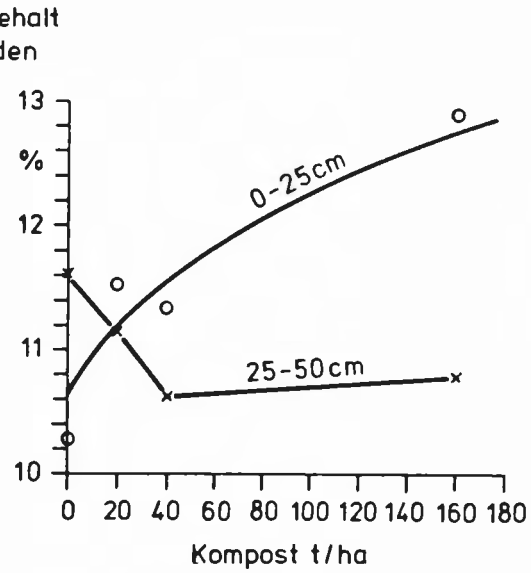


Die Versuchsvarianten bestanden neben der Nullparzelle aus Kompostzugaben von 20 t/ha, 40 t/ha und 160 t/ha. Der Kompost wurde kurz vor der Weinblüte im Juni 1983 mit dem Spatenpflug (ca. 15 – 25 cm Tiefe) eingearbeitet und der Boden, die Pflanzen und der Ertrag nach sechsmonatiger Einwirkungszeit auf mögliche Veränderungen überprüft.

7.1.2.1 Die Veränderung der Bodeneigenschaften durch die Kompostzugabe

Es zeigt sich eine deutliche Zunahme an Humus in Abhängigkeit von der Kompostapplikation, wie die Abbildung 7.5 zeigt. Dabei steigt sowohl der Humusanteil im Ober- als auch im Unterboden an, obwohl der Spatenpflug den Kompost nur in den Oberboden einarbeiten konnte. Zusätzlich ist noch die Kurve für den Humusanteil der jeweiligen Parzellen aus der Zeit vor der Kompostapplikation dargestellt. Zur Bestimmung der Humusqualität ist das C/N-Verhältnis wichtig, das für alle Parzellen bei ca. 8 liegt und damit hohe Stickstoffreserven aufweist. In der Abbildung 7.6 ist die Wasserspeicherkapazität des Ober- und Unterbodens in Abhängigkeit von der Kompostzugabe dargestellt, wobei deutlich wird, daß mit steigender Kompostzugabe die Wassergehalte der Bodenproben zunahmen. Diese Zunahme trifft aber nur für den Oberboden zu, in welchem der Kompost eingearbeitet worden war. Da der Sommer 1983 extrem niederschlagsarm war,

Abb. 7.6
Der Einfluß der Kompostzugabe auf die Speicherung des Bodenwassers im Ober- und Unterboden



fehlte auch eine wiederholte und anhaltende Durchfeuchtung des gesamten Bodenprofiles, so daß der Komposteinfluß auf den Unterboden und die Pflanzen recht gering blieb.

In der Abbildung 7.7 ist die Veränderung der schwerlöslichen Reservenährstoffe – Fraktion III – in Abhängigkeit von der Kompostzugabe dargestellt. Die Fraktion III zeigt die Zufuhr der Kompostinhaltstoffe besonders gut an, da sie den Einfluß der bodentypischen Adsorptionsvorgänge und Fällungsprozesse im Boden ausschaltet. Sie repräsentiert damit keine Stoffmengen, die unmittelbar pflanzenverfügbar sind. Damit sind diese Mengen auch nicht unmittelbar ökologisch relevant, sondern sie sind die potentiellen Mengen, die möglicherweise mobilisierbar sind und zu den fließenden Quellen für diesen Bereich werden können. In der Abbildung 7.7 wird der Anstieg von Mg, K und Pb deutlich. Aber auch Fe, Na und V steigen im Oberboden unterschiedlich stark an, während der Unterboden weitgehend unbeeinflußt bleibt. Der Cadmiumgehalt steigt, wie bereits die ersten Analysen vermuten ließen, nicht an.

Als pflanzenverfügbar werden alle wasserlöslichen (Fraktion I) und austauschbaren Ionen (Fraktion II) bezeichnet. Während die wasserlöslichen Ionen sich im wesentlichen mit dem Sicker- bzw. Kapillarwasser bewegen, sind die austauschbaren Ionen an die aktive Oberfläche des Bodens (Ton, Humus) gebunden. Sie stehen aber im ständigen dynamischen Gleichgewicht mit den wasserlöslichen Ionen und bewirken, daß die Konzentration bzw. Aktivität der Ionen in der Bodenlösung annähernd gleich

Abb. 7.7
Die Veränderung der schwerlöslichen Reservenährstoffe – Fraktion III – in Abhängigkeit von der Kompostapplikation für den (a) Ober- und (b) Unterboden

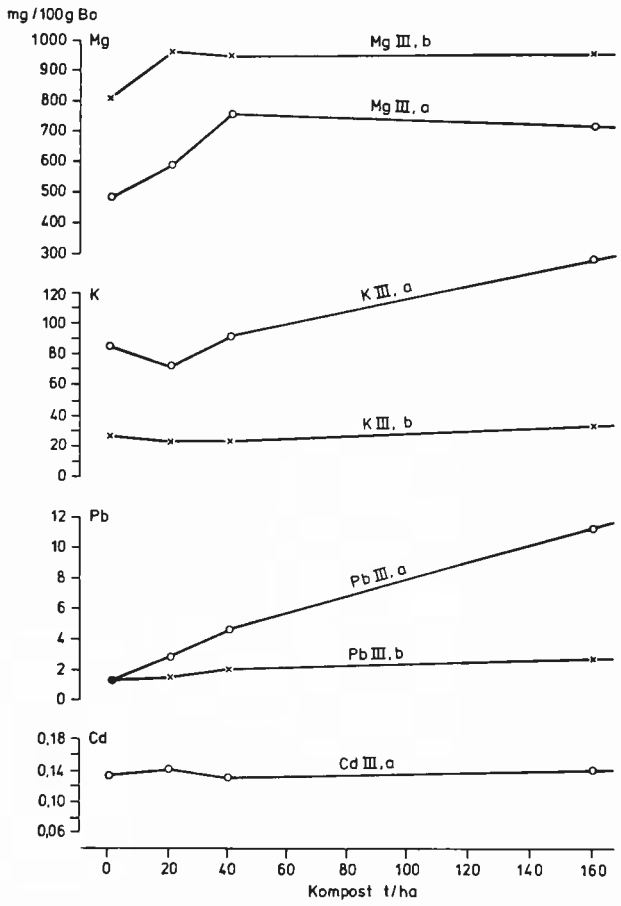


Tabelle 7.11
Die Kationengarnitur am Sorptionskomplex des Bodens bei steigender Kompostzugabe in % der Austauschkapazität – mit Angabe der Idealwerte (34)

	Kompost	in % der Austauschkapazität							
	t/ha	Ca (80 %)		Mg (15 %)		K (3 %)		Na (2 %)	
		a	b	a	b	a	b	a	b
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	85,23	88,93	6,69	9,24	6,69	1,16	0,10	0,33
2	20	79,51	83,24	10,69	14,56	7,47	1,20	1,16	0,64
3	40	77,31	83,48	11,59	14,28	8,89	1,27	1,68	0,76
4	160	72,54	84,02	12,66	12,38	11,20	1,84	2,91	1,52

bleibt. Somit stellt die Fraktion II die große Reserve der pflanzenverfügbaren Nähr- und Schadstoffe dar.

Bei neutralen bzw. kalkhaltigen Böden ist der Anteil an adsorbierbaren Wasserstoffionen am Sorptionskomplex des Bodens annähernd null. Mehr als 92 % der Austauschkapazität sind dann von Alkalien (K, Na) und Erdalkalien (Ca, Mg) abgesättigt (34). In der Tabelle 7.11 ist neben den Elementen die optimale Kombination der Kationengarnitur am Sorptionskomplex des Bodens und die in den Versuchsfeldern gefundenen Werte in Abhängigkeit zur Kompostmenge angegeben. Mit steigender Kompostzugabe verändert sich die Ionenkombination am Sorptionskomplex des Oberbodens.

Im Oberboden der Nullparzelle ist die Versorgung mit Ca sehr gut, mit Mg eindeutig zu gering, mit K deutlich zu hoch und mit Na normal. Die Kompostzugabe bewirkt im Oberboden vor allem eine Erhöhung von Mg, aber auch des K und Na zu Lasten von Ca. Dies ist aufgrund des Magnesiummangels eine wichtige Verbesserung. Böden mit weniger als 10 % Mg am Sorptionskomplex des Bodens müssen mit Magnesium gedüngt werden. Durch die Kompostzugabe wird diese Untergrenze überschritten und die bereits in der Tabelle 7.10 als notwendig angegebene Mg-Meliorationsdüngung erübrigt sich. Magnesium ist für die Bildung von Chlorophyll und das wiederum für die Photosynthese von entscheidender Bedeutung. Daher ist Magnesium unter anderem für die Bindung der Sonnenenergie an die Pflanze und beim Wein für die Zuckerbildungskapazität ein wichtiges Spurenelement.

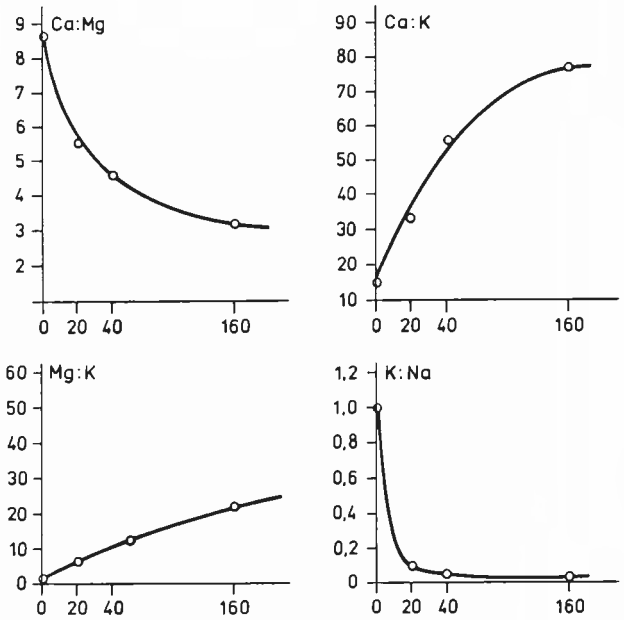
K steigt ebenfalls merklich an, was im Falle eines Kali-Mangelbodens als sehr günstig vermerkt werden müßte. Im vorliegenden Fall wird ein bereits vorhandener Kaliüberschuß durch den Kompost noch verstärkt. Da Kalium antagonistisch zu Magnesium wirkt, dürfte ein Teil der positiven Wirkung der Mg-Erhöhung durch die Kalisteigerung wieder unwirksam werden.

Na zeigt eine steigende Tendenz, bleibt aber noch in tolerierbaren Grenzen.

Nicht nur die Ionenkonzentration, sondern vor allem ihr Verhältnis zueinander ist für die Pflanzenernährung von großer Bedeutung. Durch die analytische Trennung der Boden- bzw. Kompostproben in die Fraktion I werden die in der Bodenlösung vorhandenen Ionen ausgedrückt, die der Pflanze direkt zugänglich sind. Es zeigt sich, daß das Ca, Mg und Na der Fraktion I ansteigt, während Kalium unverändert bleibt. Im wasserlöslichen Bereich müssen daher die Quotienten aller dieser Kationen zu Kalium zunehmen, was auch in der Abbildung 7.8 mit steigender Kompostzugabe deutlich wird.

Dies ist in Anbetracht der zuvor festgestellten Kaliüberdüngung eine günstige Situation. Das durch den Kompost zugeführte, pflanzenverfügbare Kalium befindet sich also vorrangig in der austauschbar adsorbierten Fraktion II. Aus diesem Grund hat der Quotient Ca/K im wasserlöslichen Bereich eine

Abb. 7.8
Veränderung der Ionenverhältnisse in der Bodenlösung des Weingartens bei steigender Kompostzugabe aus der Recyclinganlage in Wien nach einer Einwirkungsdauer des Kompostes von sechs Monaten (34)



stark steigende Tendenz, wie in der Abbildung 7.8 erkennbar wird, und im adsorbierten Bereich eine sinkende Tendenz, wie aus der Tabelle 7.11 leicht abgeleitet werden kann.

Abb. 7.9
Der pflanzenverfügbare Anteil (Fraktion I,II) der Problemmetalle im Boden des Weingartens in Abhängigkeit von steigender Kompostzugabe (34)

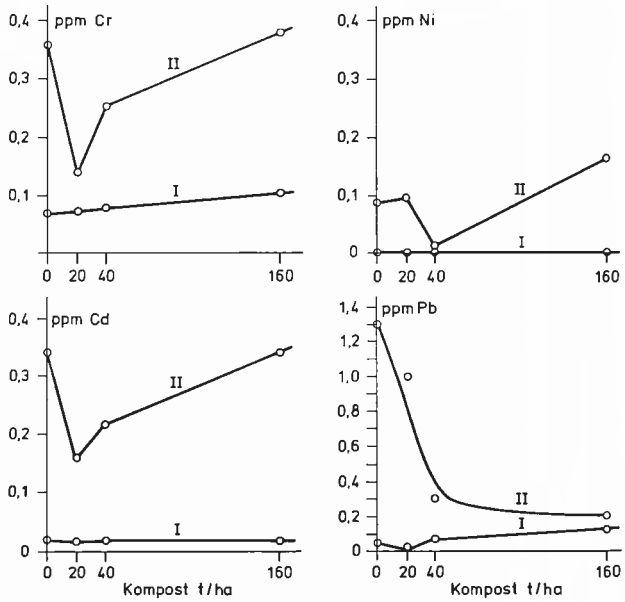
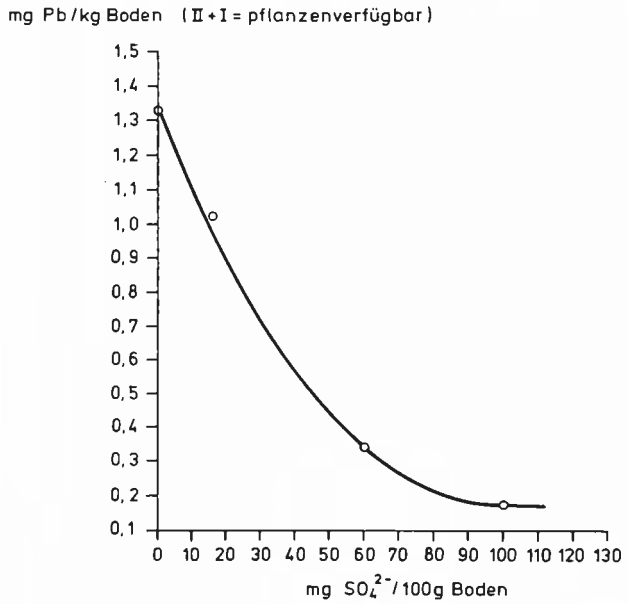


Abb. 7.10
Das pflanzenverfügbare Blei (Fraktion I,II) im Versuchsfeld in Abhängigkeit von der freien Sulfatmenge im Boden (34)



Natrium, das in größeren Mengen sowohl kolloidphysikalisch als auch pflanzenphysiologisch ungünstig wirkt, wird zwar durch steigende Kompostgaben erhöht, bleibt aber ohne größere Nachwirkungen und führt zu keiner alkalischen Reaktion.

In der Abbildung 7.9 sind die pflanzenverfügbaren Anteile der Problemmetalle (Fraktion I,II) im Oberboden des Weingartens in Abhängigkeit von der aufgebrachten Kompostmenge dargestellt. Chrom, Nickel und Cadmium zeigen zwar steigende Tendenzen, bleiben aber in ihren Konzentrationen besonders in der wässerigen Phase sehr niedrig bzw. unverändert. Blei zeigt ebenfalls eine kaum merkliche Steigerung von 0,052 auf 0,125 mg pro kg Boden in der wasserlöslichen Fraktion und in der austauschbaren Fraktion eine stark sinkende Tendenz. Dieses günstige Ergebnis wurde vermutlich vom hohen Sulfatgehalt der Bodenlösung her verursacht, der mit steigender Kompostzugabe stark zunimmt. In der Abbildung 7.10 wird deutlich, wie das pflanzenverfügbare Blei mit steigendem Sulfatgehalt im Boden radikal absinkt. Der hohe Sulfatanteil an den wasserlöslichen Anionen fällt Blei aus und scheidet als Bleisulfat in unlöslicher Form aus dem Reaktionsgeschehen aus. Damit wurde nachträglich festgestellt, daß Blei nicht der limitierende Faktor für die Applikationsmenge auf dem Versuchsfeld darstellt. Die anderen hier nicht aufgezählten Schwermetalle wie Fe, Mn, Cu, Zn, Co und Mo waren in dem kalkreichen Boden eher zu gering vertreten, so daß mit der Kompostapplikation für eine ausreichende Versorgung dieser Spurenelemente in den pflanzenverfügbaren Fraktionen gesorgt wurde.

7.1.2.2 Die Veränderung der Pflanzeninhaltstoffe durch die Kompostzugabe

Der Traubenertrag wurde im Versuchsjahr 1983 vorwiegend von der außerordentlichen Trockenheit dominiert. Die Ertragskurve der Trocken- und Frischmassemengen folgt dabei nicht der Kompostdosierung, sondern dem Wassergehalt des Unterbodens, wie aus der Tabelle 7.12 ersichtlich wird.

Aus dem Traubensaft wurden unmittelbar nach der Lese die Mostgrade (Klosterneuburger Grade), der Zuckergehalt, der titrierbare Säuregehalt und die

Abb. 7.11
Veränderung der Traubenqualität in Abhängigkeit von der Kompostapplikation in einem kalkreichen Weingarten in Wien 1983 (34)

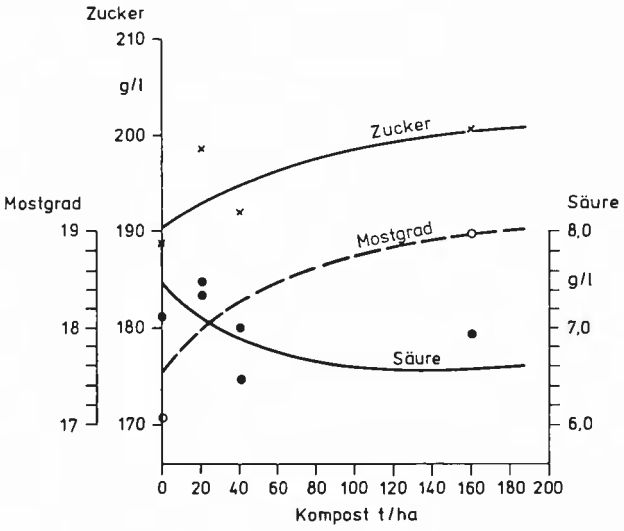


Tabelle 7.12
Der Traubenertrag und der Bodenwassergehalt in den unterschiedlichen Tiefen während des Erntezeitpunktes in Abhängigkeit von der zugegebenen Kompostmenge

	Kompost t/ha	Bodenwassergehalt % 0 – 25	25 – 35	Traubenertrag kg/ha frisch	TS
	1	2	3	4	5
1	0	10,28	11,61	8038	1936
2	20	11,53	11,05	7245	1940
3	40	11,31	10,51	6152	1626
4	160	12,81	10,70	6785	1748

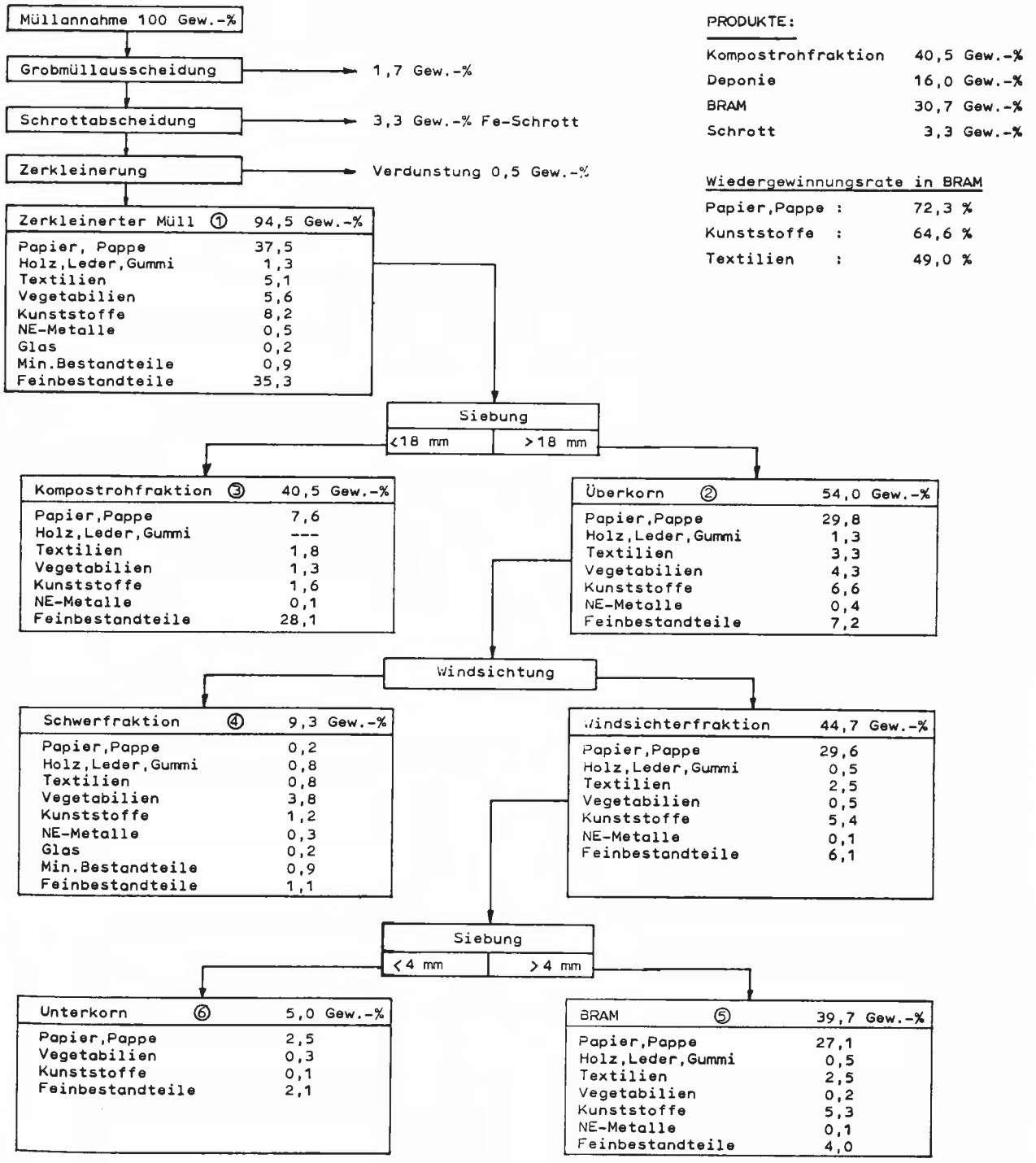
Tabelle 7.13
Mineral- und Problemstoffgehalt des Traubenbreis und des Traubensaftes in Abhängigkeit von zugegebener Kompostmenge in mg/kg bzw. mg/l

	Mineral-stoffgehalt mg/kg (mg/l)	Traubenbrei				Traubensaft			
		Kompost t/ha							
		0	20	40	160	0	20	40	160
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Ca	39,860	39,720	24,100	43,467	32,205	17,637	35,597	48,100
2	Mg	63,025	113,130	94,270	89,470	60,937	74,057	63,555	75,625
3	K	1.867,410	2.564,675	2.387,907	2.320,440	828,367	766,027	915,285	864,425
4	Na	13,427	14,252	13,425	12,937	10,887	10,187	12,875	12,720
5	B	3,322	4,655	4,410	4,352	2,052	2,460	2,165	2,677
6	Cu	0,302	0,630	0,635	0,505	0,225	0,207	0,217	0,290
7	Zn	0,322	0,715	0,742	0,625	0,345	0,320	0,307	0,545
8	Fe	1,015	2,032	2,035	1,887	0,642	0,757	0,635	0,870
9	Mn	0,310	0,640	0,787	0,587	0,260	0,255	0,292	0,345
10	Mo	0,032	0,027	0,017	–	–	–	–	–
11	Co	0,002	0,020	0,005	0,002	–	–	–	–
12	PO_4	361,375	647,755	576,772	488,112	222,292	276,200	253,267	278,172
13	Al	1,382	2,127	2,892	2,815	0,887	0,827	1,030	1,412
14	Si	3,995	5,077	5,667	5,455	4,025	3,712	4,765	5,720
15	V	–	0,007	–	–	–	0,005	–	–
16	Cr	0,035	0,077	0,050	0,105	0,020	0,165	–	0,017
17	Pb	–	0,095	–	0,027	–	–	–	–
18	Cd	0,022	0,040	0,022	0,030	–	–	–	–
19	Ni	–	0,310	0,052	–	0,037	–	0,095	–
20	As	3,197	0,510	1,092	2,137	1,682	0,842	0,937	–

Alkoholausbeute bestimmt. Aus der Abbildung 7.11 wird die positive Beziehung zwischen den angeführten Qualitätsmerkmalen und der Kompostapplikation deutlich. Auch die Ausbeute an Alkohol steigt von 87,5 g/l bei der Nullparzelle auf 95,0 g/l bei einer Applikation von 160 t/ha und läßt sich so positiv mit den Kompostzugaben korrelieren.

Es zeigte sich, daß sich sowohl die Haupt- als auch die Mikronährstoffe in Abhängigkeit zu den Kompostgaben erhöhen. Es gibt aber wichtige Ausnahmen von diesem Trend wie Ca, Na, N und Mo, die sich mit steigender Kompostapplikation verringern. Die Versorgung der Pflanze mit einer Reihe von lebenswichtigen Spurennährstoffen wie Mg, Fe, Mn, Cu und Zn, die in der Bodenanalyse der Nullparzelle als zu niedrig interpretiert wurden, hat sich deutlich verbessert.

Abb. 7.12
Materialbilanz der einzelnen Aufbereitungsschritte in der Recyclinganlage in Wien beim Großversuch im März 1983



In der Tabelle 7.13 sind die Mineral- und Problemstoffe für den Traubenbrei und den Traubensaft in Abhängigkeit von der Kompostapplikation aufgelistet.

Insgesamt liegen die angegebenen Werte des Traubensaftes niedriger, wobei die Trends weitgehend erhalten bleiben. Von den Problemstoffen stieg lediglich der Chromgehalt in den Trauben an, was auch bereits in der Bodenanalyse vermutet werden konnte. Die anderen schädlichen Bestandteile wie Arsen, Cadmium, Blei und Nickel erhöhten sich sowohl in der Traube als auch im Saft nicht eindeutig. Die in der Tabelle 7.13 ausgewiesenen Schwankungen können nur mit Vorsicht interpretiert werden, da die Werte in diesem niedrigen Bereich in den Routinemessungen bereits sehr ungenau werden. Cadmium und Blei sind im Traubensaft bei allen Untersuchungen nicht mehr nachweisbar, so daß ein Eintrag von schädlichen Schwermetallen im menschlichen Konsumbereich nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen nicht besteht.

7.2 Material- und Energiebilanz

In der Abbildung 7.12 ist die Materialbilanz des Großversuches in Wien vom März 1983 dargestellt. Die angegebenen Daten der verschiedenen Aufbereitungsschritte sind Mittelwerte der drei Versuchstage. Die Inhaltsstoffe der Kompostrohfrak-

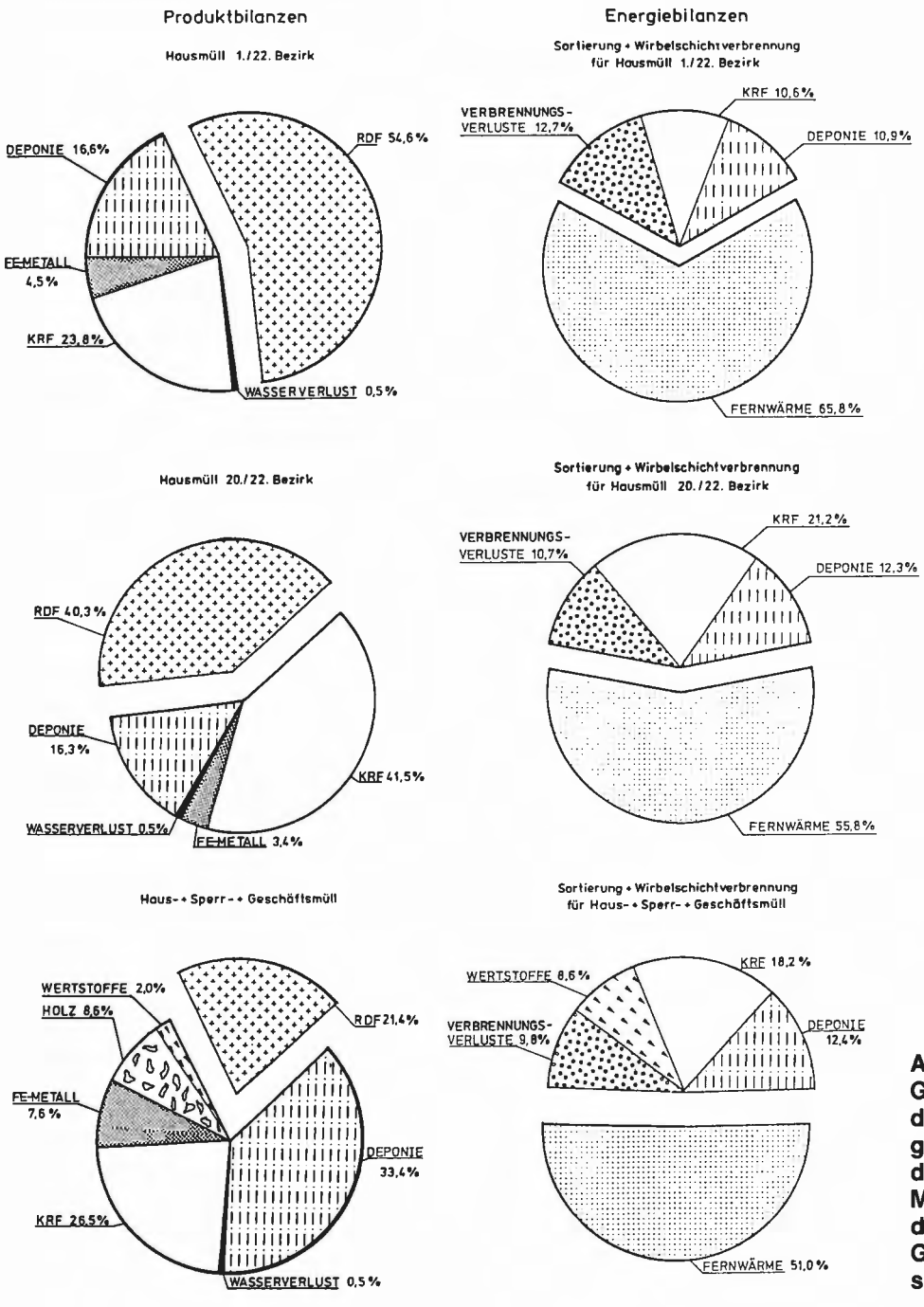


Abb. 7.13 Gegenüberstellung der Produkt- und Energiebilanzen aufgrund der unterschiedlichen Müllzusammensetzungen der Stadt Wien auf der Grundlage der Untersuchungen von 1982/83

Tabelle 7.14
Benötigte Energie für die Produktion von Weich- und Hartpellets in kWh/t Müll und t BRAM bei einer Ausbeute von 55 und 35 Gew.-% am Beispiel der Recyclinganlage Wien

	Verbraucher	kWh/Tonne		
		Müll	BRAM 55 Gew.-%	BRAM 35 Gew.-%
	1	2	3	4
1	Sortierungsanlage	14,04	25,53	40,11
2	Pelletierung	12,00	29,09	34,29
3	Transporte, Radlader etc.	3,08	5,60	8,80
4	Haustechnik (Wärme, Licht etc.)	5,51	10,02	15,74
5	Produktion: Weichpellets	34,63	70,24	98,94
6	Trocknung	46,40	116,27	116,27
7	Zusatzenergie Konfektionierung	4,32	3,49	4,11
8	Lagerfähige Pellets	85,35	190,00	219,32

tion und des Unterkorns aus der Absiebung bei 4 mm stellen berechnete Werte dar. Die hier genannten Ergebnisse können mit der entsprechenden Schadstoffbilanz des Großversuches in der Tabelle 7.4 verglichen werden.

Die Wiedergewinnungsrate der wertbestimmenden Anteile im BRAM betragen für Papier und Pappe 72,3 %, für Textilien 49 % und für Kunststoffe 64,6 %. Da es sich bei den Kunststoffen im BRAM überwiegend um Folien handelt, kann die Wiedergewinnungsrate der Kunststoffe im BRAM auch auf den Anteil an Kunststoff-Folien im Hausmüll bezogen werden. Bei mehreren Versuchen lag die Rückgewinnungsrate der Folien um 90 %.

Die zu erstellenden Material- und Energiebilanzen sehen je nach der Aufbereitungsanlage und dem Müllinput sehr unterschiedlich aus. Daher sind Vergleiche zwischen verschiedenen Anlagenherstellern, die Haus- und Geschäftsmüll verarbeiten, der nicht genau definiert ist, für den gewünschten Anwendungsfall selten übertragbar und daher wenig hilfreich. Wie groß der Einfluß der unterschiedlichen Müllzusammensetzung auf die Produkt- und Energiebilanz sein kann, wird in der Abbildung 7.13 dargestellt.

In einer Reihe von Untersuchungen wurden mit der gleichen Recyclinganlage unterschiedliche Stadtbereiche Wiens entsorgt und der BRAM im Wirbelschichtofen eingesetzt. Aufgrund dieser Abbildung wird deutlich, daß der Wirkungsgrad einer Sortieranlage mit einer anschließenden energetischen Verwertung des Brennstoffes weitgehend vom Müllinput abhängt.

Die eingesetzte Energie für die Aufbereitung von normalem Haus- und Geschäftsmülls wird in der Tabelle 7.14 für eine Anlage zur Verarbeitung von 200.000 t/a am Beispiel Wien aufgelistet. Dabei wird vorausgesetzt, daß im Normalfall (Spalte 2) ca. 40 Gew.-% des ankommenden Hausmülls zu BRAM verarbeitet wird.

8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Herstellung von BRAM

Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet muß der Wert des BRAM mit anderen festen Standardbrennstoffen wie Braunkohle, Torf, Holz, aber auch mit Alternativbrennstoffen wie Rinde, Holzhackschnitzel und Fruchtschalen aller Art verglichen werden. Dabei ist davon auszugehen, daß bei einer Gesamtkalkulation, die die Hausmüllsortierung, den Transport, die Lagerung und die Verbrennung des BRAM umfaßt, immer Nettobeseitigungskosten entstehen, die durch die Abfallverursacher abgedeckt werden müssen. Von diesem Gesichtspunkt aus konkurriert die BRAM-Herstellung mit der konventionellen Kompostierung und Abfallverbrennung.

8.1 Die Ermittlung des Anlagekapitalbedarfs

Für die Bestimmung des Anlagekapitalbedarfs (AK) wurden verschiedene Angebote und Veröffentlichungen (12) zur Ermittlung herangezogen. Die Angaben wurden auf der Preisbasis 1984 vereinheitlicht. Im angegebenen Kapitalbedarf nicht enthalten ist die Finanzierung während der Bauphase (ca. 9 % v.AK), das notwendige Umlaufkapital (ca. 5 % v.AK) für den Betrieb der Anlage, der Preis für das Bau- und Betriebsgelände und die Gebühren für Betriebsgenehmigungen (ca. 1 % v.AK).

Die Angaben der verschiedenen Sortieranlagen sind, soweit notwendig, für einen 2-Schichtbetrieb an 5 Tagen in der Woche und einem 1-schichtigen Betrieb am Sonnabend ausgelegt. Für 5 Tage in der Woche ist eine Reparatur- und Wartungsschicht vorgesehen. Alle Anlagen haben eine Verarbeitungsreserve von 25 %. Unter diesen Annahmen beträgt die Jahresbetriebszeit 4.576 h/a. Die Anlagen sind für die Verarbeitung von Haus-, Sperr- und hausmüllähnlichen Gewerbemüll geeignet.

Bei dem Sortierungsprozeß zur Herstellung von BRAM wird das Hausmüllgemisch weitgehend in seine organischen, magnetischen und kalorisch hochwertigen Komponenten zerlegt. Daher eignet sich eine Sortieranlage für die Herstellung von BRAM auch für die Herstellung von Kompost. In dieser Untersuchung wird auf eine Betrachtung der Kompostrohfraktion und seiner Veredelung verzichtet. Die anfallende organische Fraktion wird in allen Verfahren als Reststoff betrachtet, der kostenpflichtig deponiert werden muß.

Zur Zeit werden in Europa ca. 30 Aufbereitungsverfahren für Hausmüll auf dem Markt angeboten. Aus dieser Vielzahl von Möglichkeiten habe ich acht Verfahren von Firmen und Ingenieurgruppen ausgewählt, die sowohl BRAM als Hauptprodukt herstellen als auch mindestens zwei Referenzanlagen im großtechnischen Maßstab in Betrieb haben. Um eine statistisch verbesserte Aussage zu erzielen, wurden die verschiedenen Sortierverfahren nach ihrer Komplexität des apparativen Aufbaus (Anzahl und Typen der Aggregate) eingeteilt:

A = mittelmäßige bis sehr komplexe Verfahrensvarianten
B = einfache Verfahrensvarianten

In der Abbildung 8.1 sind die Kurven für den Anlagekapitalbedarf von komplexen und einfachen Anlagen zur Herstellung von Brennstoff aus Müll graphisch dargestellt. Die berechnete Regressionskurve für mittelmäßig bis sehr komplexe BRAM-Anlagen ergeben die Gleichung

$$y = 6{,}97 \cdot x^{0{,}526}$$

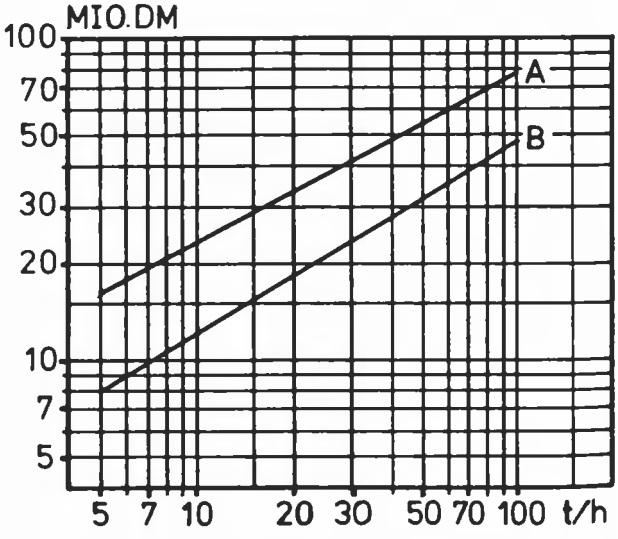
mit einem Korrelationskoeffizienten von r = 0,534. Die entsprechende Gleichung für die einfachen Verfahren lautet

$$y = 3{,}067 \cdot x^{0{,}596}$$

mit einem Korrelationskoeffizienten von r = 0,969. Aus den Korrelationskoeffizienten wird deutlich, daß der Kapitalbedarf für mittelmäßige bis komplexe Verfahren erheblich abweichen kann.

Obwohl der dargestellte Kapitalbedarf für den Bau von Recyclinganlagen zur Herstellung von BRAM gilt, weichen die Werte für andere Sortierprozesse nur geringfügig oder gar nicht von den dargestell-

Abb. 8.1
Richtpreisdiagramm für den Anlagekapitalbedarf für Recyclinganlagen zur Herstellung von BRAM (Preisbasis 1984)



ten Kurven ab. So stimmt die Angabe von ca. 9 Mio. DM Anlagekapitalbedarf für eine betriebsfertige Anlage mit ca. 6 t/h zur Aufbereitung der "Grünen Tonne" sehr gut mit der Kurve B der Abbildung 8.1 überein.

8.2 Betriebswirtschaftliche Darstellung

8.2.1 Kosten

Die Kosten der Betriebsanlage setzen sich aus den kapitalabhängigen, fixen und variablen Kosten zusammen. Als Grundlage zur vorliegenden Kalkulation dienen folgende Daten:

Kapitalabhängige Kosten:

Abschreibung für Gebäude 5 % und Maschinen und Elektronik 10 %, Zinsen 9 % /a.

Fixkosten:

Personalkosten 60.000 DM/Kopf, Verwaltungssachkosten betragen 5 % der Personalkosten, Steuern und Versicherungen betragen 2 % vom AK, Grundgebühr Strom: 60 DM/a kW.

Variable Kosten:

Energiepreis beträgt 0,16 DM/kWh, Heizöl EL 750 DM/t, RWU für Maschinen und Elektrik 4,5 % und für den Bauteil 1 % der Baukosten, Hilfs- und Betriebsstoffe berechnen sich mit 5 % vom RWU, Deponiegebühren 35 DM/t.

Um den Kostenvergleich der unterschiedlichen Verfahren zu vereinfachen, wurden gleiche Ausbeuten für BRAM und Fe-Metalle angenommen. Neben einer Vergleichmäßigung der Erlöse entstehen prozentual die gleichen Restmengen für die Deponie.

Abb. 8.2
Die durchschnittlichen Gesamtkostenkurven (DM/t) der komplexen (A) und einfachen (B) Verfahren zur Herstellung von BRAM in Abhängigkeit vom Durchsatz (Preisbasis 1984)

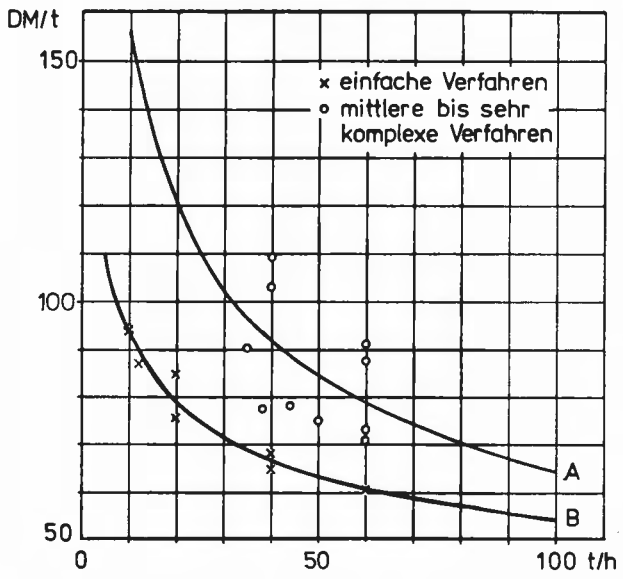
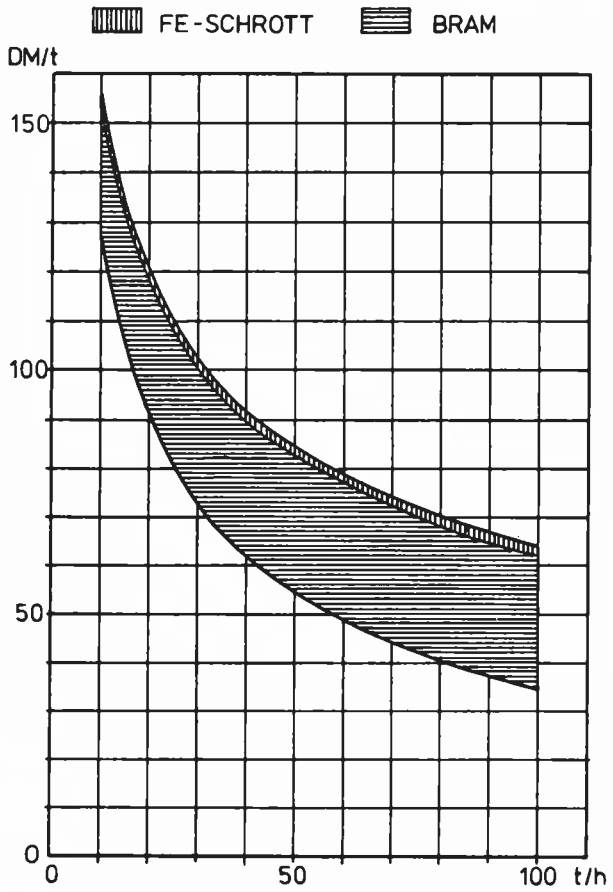


Abb. 8.3
Gesamtkosten- und Nettobeseitigungskostenkurven je t/h für mittlere bis komplexe Verfahren (Preisbasis 1984)



Die berechnete Gleichung der durchschnittlichen Gesamtkosten in der Abbildung 8.2 für die einfachen Verfahren (B) zur Herstellung von BRAM lautet:

$$y = 381 \cdot x^{-0,235}$$

Der Korrelationskoeffizient von r= 0,998 zeigt, daß die erhobenen Werte sehr gut mit der Kurve übereinstimmen. Für die mittleren bis sehr komplexen Verfahren (A) lautet die berechnete Gleichung:

$$y = 381 \cdot x^{-0,387}$$

Der Korrelationskoeffizient beträgt r = 0,594. Entsprechend den Gleichungen nähern sich die Kurven bei einem größeren Mülldurchsatz einander an. Der größte Kostenvorteil der einfachen Verfahren zur Herstellung von BRAM liegt im Durchsatzbereich zwischen 10 – 40 t/h.

8.2.2 Erlöse

In der Abbildung 8.3 und Abbildung 8.4 sind die Gesamtkosten, die Erlöse und die Nettobeseiti-

Abb. 8.4
Gesamtkosten- und Nettobeseitigungskostenkurven je t/h für einfache Aufbereitungsverfahren (Preisbasis 1984)

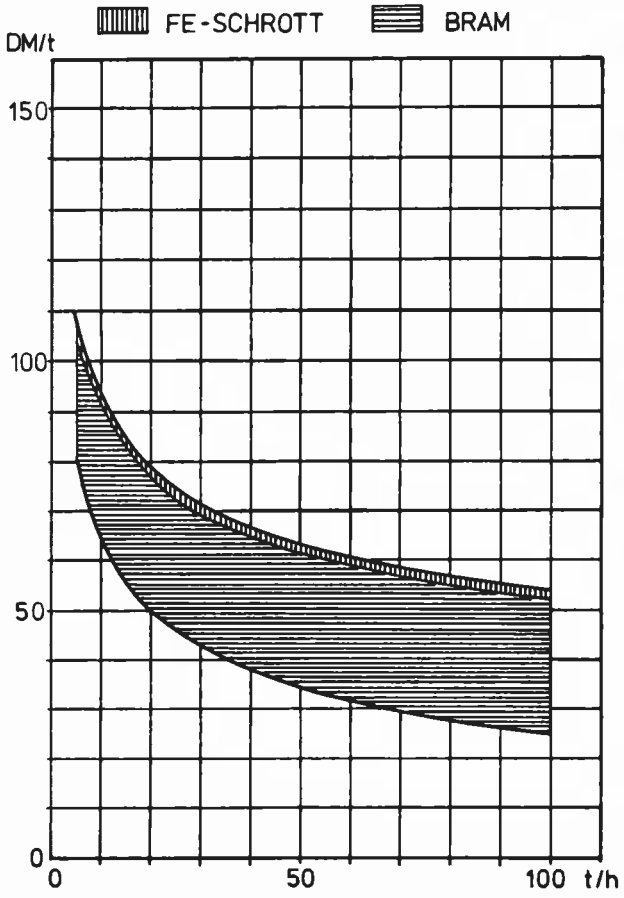
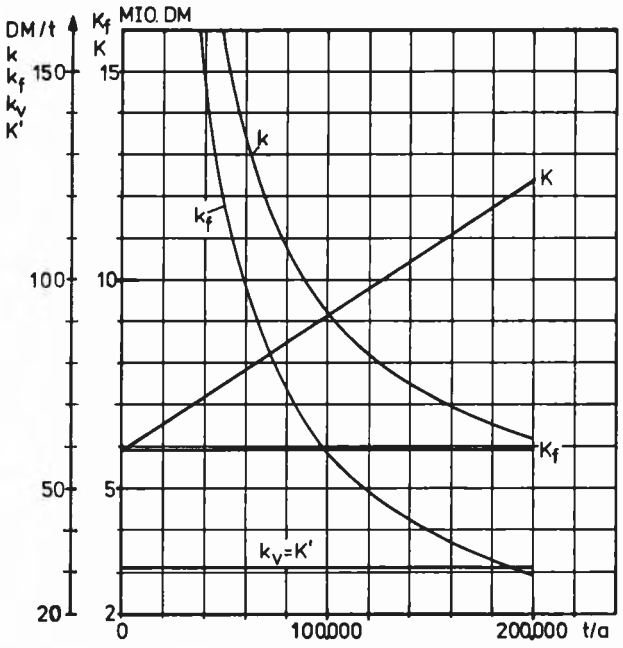


Abb. 8.5
Darstellung der verschiedenen Kurven der Kostenfunktionen einer einfachen BRAM-Anlage mit einem Durchsatz von 40 t/h bei schwankendem Abfallaufkommen



K = Gesamtkosten (DM/a)
K_f = Gesamtfixkosten (DM/a)
k = Durchschnittskosten (DM/t)
k_f = fixe Durchschnittskosten (DM/t)
k_v = variable Durchschnittskosten (DM/t)
K' = Grenzkosten (DM/t)

gungskosten je Tonne Durchsatz dargestellt. Die Gesamtkosten bilden die oberen Begrenzungen, von denen die Erlöse für Fe-Schrott (1,60 DM/t Abfall) und BRAM (27,88 DM/t Abfall) subtrahiert sind. Die Nettobeseitigungskosten je Tonne Durchsatz bilden die unterste Kurve.

8.2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Da in keinem Entsorgungsbetrieb die kurz- und mittelfristig durchgesetzte Müllmenge konstant ist, wirkt sich dieser schwankende Betrieb auf die Kosten der Recyclinganlage und damit auch auf die Gebührenhöhe des einzelnen Bürgers aus.

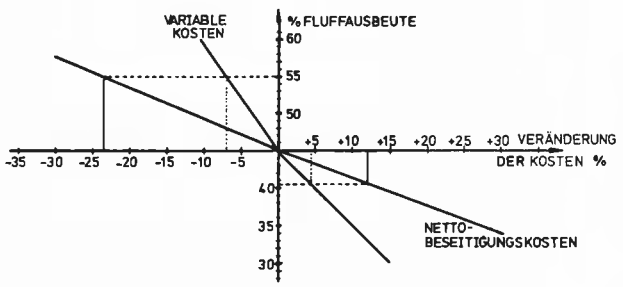
In der Abbildung 8.5 ist die Gesamtkostenfunktion einer einzelnen BRAM-Anlage zur Verarbeitung von 40 t Abfall/h in Abhängigkeit der zu verarbeitenden Jahresmenge Abfall dargestellt. Die Produktionsfaktoren sind während des Betriebes limitational. So verhalten sich die variablen Kosten bei der Steigerung der zu verarbeitenden Abfallmenge und der sonst gleichbleibenden Produktionsbedingungen proportional, d.h. die Gesamtkostenfunktion verläuft bis zur technischen Kapazitätsgrenze linear.

Die Gesamtkostenkurve folgt damit der allgemeinen Gleichung:

$$K = k_v \cdot X + K_f$$

Durch den ungleichmäßigen Abfallanfall schwanken die Verarbeitungskosten pro Tonne Abfall in einem

Abb. 8.6
Sensitivitätsanalyse über den Einfluß einer wechselnden Ausbeute an losem Brennstoff (Fluff) aufgrund veränderter Müllzusammensetzung anhand des Beispiels aus Abb. 8.5



gewissen Bereich um den Auslegungspunkt von 40 t/h bzw. 183.000 t/a.

Neben der Anpassung an wechselnde Abfallmengen ergibt sich in der Abfallbeseitigung auch eine Anpassung an veränderte Abfallzusammensetzungen, die folglich auch eine veränderte Produktpalette entstehen läßt und sich somit auf die Kosten und Erlöse auswirkt. Dieses ist in der Abbildung 7.13 für verschiedene Abfallzusammensetzungen bereits erkennbar.

In der Abbildung 8.6 ist die Auswirkung der wechselnden Ausbeute aufgrund der veränderten Müllzusammensetzung für das berechnete Beispiel aus der Abbildung 8.5 in einer Sensitivitätsanalyse graphisch dargestellt. Dabei wird deutlich, daß sich durch die veränderten Ausbeuten an losem Brennstoff (Fluff) von 40,5 auf 55 Gew.-% die variablen Kosten um 11,70 % und die Nettobeseitigungskosten um 35,77 % verringern.

9. Verzeichnis der Recyclinganlagen

Im folgenden sind die Recylinganlagen zur Herstellung von BRAM sowie für die "Grüne Tonne" in Europa alphabetisch nach dem Standort aufgelistet.

	Standort	Durchsatz	Betrieb	BRAM-Verbleib	Maschinen-lieferant
	1	2	3	4	5
1	Ackern	6 t/h	1984	n.b.	Bezner
2	Amsterdam	60 t/h	1983	Prozeßwärme	Visno
3	Birmingham	30 t/h	1985	n.b.	Tollemache
4	Borlänge	45 t/h	1980	Fernwärme	DMT-ApS
5	Castellon	15 t/h	1981	Kraftwerk	ENADIMSA
6	Doncaster	10 t/h	1980	Kraftwerk	Motherwell Bridge
7	Dreux	50 t/h	1985	n.b.	Geteba
8	Eastbourne	20 t/h	1979/ 1981	Kraftwerk	Bühler-Miag
9	Eskilstuna	50 t/h	1980	Kraftwerk	Peabody
10	Falkenberg	25 t/h	1981	Fernwärme	Bühler-Miag
11	Frederikssund	30 t/h	1978	-	PLM
12	Freiburg i.B.	8 t/h	1985	n.b.	Bezner
13	Grimsby	40 t/h	1982	Kohlekraft-werk	Tollemache
14	Habay-la-Neuve	25 t/h	1984	n.b.	Bühler-Miag
15	Helsingborg	7 t/h	1981	Fernwärme	PLM
16	Herne	5 t/h	1977	Handel	MVU
17	Herten	50 t/h	1983	Handel	MVU
18	Karlshamm	30 t/h	1981	n.b.	Hazemag
19	Kempten	66 t/h	1983	n.b.	Schönmackers
20	Kovik,Stockholm	30 t/h	1982	Fernwärme	PLM
21	Laakirchen	20 t/h	1983	Pyrolyse	SBM
22	Lannion	n.b.	1984	n.b.	SOBEA
23	Larvik	20 t/h	1985	Prozeßwärme	PLM
24	Linköping	20 t/h	1981	Kraftwerk	PLM
25	Lüttich	60 t/h	1985	n.b.	ESDEX
26	Malmö	20 t/h	1981	Kraftwerk	PLM
27	Manchester	20 t/h	1984	n.b.	Tollemache
28	Mierlo	25 t/h	1984	Kraftwerk	VAM
29	Mons	60.000 t/a	1983	n.b.	Bühler-Miag
30	Moulins	n.b.	1984	n.b.	SOBEA
31	Nancy	900 t/d	1981	n.b.	BRGM
32	Neuss	60 t/h	1982	Müllver-brennung	U.T.G.
33	Newcastle	30 t/h	1979	Kraftwerk	Tollemache
34	Odense	15 t/h	1980	n.b.	GMP
35	Orleans	22 t/h	1981	Kraftwerk	BRGM
36	Perugia	210 t/d	1981	Wärme	Sorain Cecchini
37	Pitten	10 t/h	1984	Prozeßwärme	PLM
38	Pont-l'Abbe	n.b.	1984	n.b.	SOBEA
39	Ravensburg	5 t/h	1982	n.b.	Bezner
40	Reutlingen	50 t/h	1985	n.b.	SFW
41	Rom	50 t/h	1980	Wärme	Sorain Cecchini
42	Stenungssund	25 t/h	1982	Fernwärme	Bühler Miag
43	Strömstadt	20 t/h	1980	Kraftwerk	Voest Alpine
44	Sundsvall	20 t/h	1982	Fernwärme	PLM
45	Tarragona	10 t/h	1980	-	ENADIMSA
46	Tenneville	25 t/h	1984	n.b.	Bühler-Miag
47	Tournan-en-Brie	250 t/d	1978	Kraftwerk	SOCEA
48	Uppsala	250 t/d	1980	Fernwärme	ENADIMSA
49	Vaxholm	17 t/h	1978	Wärmekraft	PLM
50	Völklingen	1,5 t/h	1981	Kraftwerk	SFW
51	Westbury	20 t/h	1979	Zementofen	Blue Circle Ind.
52	Wijster	25 t/h	1980	Energieer-zeugung	VAM
53	Zoetermeer	20 t/h	1983	n.b.	ESDEX

10. Literaturverzeichnis

1. Alter, H.; Crawford, B.: Materials Recovery Processing Research, U.S. EPA, Washington, D.C. No.67-01-2944 (1976)
2. ARGUS : Berliner Hausmüllanalyse 1977/78, Forschungsbericht 103 05 008/2, Fachbereich 20, Informatik der TU-Berlin
3. Bagstam, G.: Refuse-Derived Fuel (RDF) and/or Material Recovery of Waste - Storage of RDF, CEC-Seminar, Luxemburg, 25.-27.Sept.1984
4. Barghoorn, M.; Kaworski, W: Laufende Aktualsierung des Datenmaterials aus der Bundesweiten Hausmüllanalyse. Forschungsbericht 103 03 503 (1984)
5. Barghoorn, M.; Dobberstein, J.; Eder, G.; Fuchs, G.; Gössele, P.: Bundesweite Hausmüllanalyse 1979/80, Forschungsbericht 103 03 503 (1981)
6. Barton, J.R.: Test Report. Byker Plant Operation, 13 - 17 September 1982, Warren Spring Laboratory, Stevenage, G.B.
7. Barton, J.R.; Poll, A.J.; Wheeler, P.: Investigation into the performance of screens and air classifiers in the processing of urban waste, CEC Seminar, Luxemburg, 25 - 27 Sept. 1984
8. Bergmann, Th.; Fricke, K.; Rehme, W.; Turk, Th.: Das Projekt "Grüne Tonne" in Witzenhausen, Projektarbeit, Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Landwirtschaft (1983)
9. Bilitewski, B.; Vogel, G.: Die Analyse von Müllströmen durch Recyclinganlagen im Hinblick auf den Anlagenbetrieb und die Auswahl und Auslegung von Anlagenteilen, in Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Materialrecycling durch Abfallaufbereitung, Freitag Verlag Berlin, Band 5 (1983) S. 349-380
10. Bilitewski, B.: Ein technisch-wirtschaftlicher Ansatz zur Brennstoffgewinnung aus Müll auf der Grundlage der Wiener Abfallbeseitigungssituation, in Hrsg. Thome-'Kozmiensky, K.J.: Brennstoff aus Müll, Freitag Verlag Berlin (1984) S. 322-343
11. Bilitewski, B.: Veränderung des Heizwertes von Abfall durch die Behandlung in Aufbereitungsprozessen, in Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Kompostierung und Brennstoffgewinnung, Freitag Verlag Berlin (1983) S. 707-725
12. Bilitewski, B.: Ansatz zum wirtschaftlichen Vergleich von mechanisierten Sortierverfahren für Haushaltsabfälle, in Abfallwirtschaft an der TUB: Materialrecycling aus Haushaltsabfall", Bd 1 (1978) S. 460-499
13. Blaurock, M.: Erfahrungen mit dem 220-Liter-Müllgroßbehälter in der Stadt Letmathe. Müll & Abfall 3 (1975) S.57-60
14. Böhm, N.; Belitz, H.G.; Luboschik, U.: Die Erfassung der Abfälle aus Industrie und Gewerbe der Freien und Hansestadt Hamburg. Müll & Abfall 7 (1974) S. 201-216
15. Bünsow, W.; Dobberstein, J.: Auswertung großtechnischer Verbrennungsversuche mit Brennstoff aus Müll, Recycling International, E. Freitag Verlag Berlin (1984) S. 318-322
16. Dah-Nien Fan: On the air classified light fraction of shredded municipal solid waste, Resource Recovery and Conservation (1975) S. 141-150
17. Diaz, L.F.; Savage, G.M.; Golveke, C.G.: Resource Recovery from Municipal Solid Waste, Vol. 1, CRC-Press Inc., Boca Raton, Florida (1982)
18. Doedens, H.; Gallenkemper, B.: Einfluß des Behälterraumangebotes und des Behältersystems auf Haus- und Sperrmüllmengen. Müll & Abfall 4 (1978), S. 97-103
19. Doedens, H.: Gartenabfälle - Ein wenig beachteter Bestandteil des Hausmülls. Müll & Abfall 3 (1982) S. 53-58
20. Eder, G.; Barghoorn, M.; Brey, E.; Dobberstein, J.; Fuchs, J.; Gössele, P.: Einflußgrößen bei häuslichen Abfällen. Berichte 8/83 Erich Schmidt Verlag Berlin 1983
21. Emberger, J.: Untersuchung über die Anwendungsmöglichkeiten verschiedenartiger Windsichter in Verfahren zur Sortierung von Haushaltsabfällen, in: Abfallwirtschaft an der TU-Berlin, Band 1 (1978) S. 236-253
22. Enhörning, B.: The Costs And Value Of Refused Derived Fuel (WDF), MER 2, Antwerpen (1981), Royal Flemish Society of Engineers, pp. 6.99-6.113
23. Frank, G.: Kompaktierung von Biomasse mit Kollerstrangpresse, Recycling International, E. Freitag Verlag Berlin (1984) S. 340-345
24. Gallenkemper, B.: Vergleichende Untersuchungen zur Müllabfuhr beim Einsatz verschiedener Behältersysteme unter besonderer Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten. Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, TU-Hannover (1977) Heft 44
25. Gallenkemper, B.: Vergleich der Müllsammelkosten bei verschiedenen Behältersystemen. Müll & Abfall 8 (1976) S. 241-249
26. Gallenkemper, B.: Einfluß der Behältergröße auf das Abfallaufkommen. Abfallwirtschaft an der TU-Berlin Band 4 (1979) S. 88-104
27. Gawalpanchi, R.R.: Berthonex, P.M.; Ham, R.K,: Particle Size Distribution of Milled Refuse, Waste Age, 9/10 (1973) S. 34 ff
28. Greiner, B.; Barghoorn, M.; Dobberstein, J.; Eder, G.; Fuchs, J.; Gössele, P.: Chemisch-physikalische Analyse von Hausmüll, Forschungsbericht 103 03 502 (1983)
29. Gotthelf, H.: Anforderungen an die Qualität von Müllschrott und dessen Verwertung im Stahlwerk, in Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Materialrecycling durch Abfallaufbereitung, Freitag Verlag Berlin, Band 5, 1983, S. 616-634
30. Härdtle, G.: Kriterien und Methoden zur Qualitätsbeurteilung von Preßlingen aus der Brennstoffkonfektionierung, in: Hrsg. Thomé-Kozmiensky: Brennstoff aus Müll, E. Freitag Verlag Berlin (1984) S. 380-415
31. Hagenmaier, H.; Krauß, P.: Schadstoffuntersuchung im Rahmen des F + E Vorhabens "Getrennte Erfassung von Wertstoffen und Sonderabfällen - dargestellt am Beispiel Ravensburg" Ordnungsnummer 77-82.52, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg (1984)
32. Hagenmaier, H.: Bericht zum Forschungsvorhaben: "Untersuchungen zur Analyse von Müllklärschlammkomposten; Möglichkeiten zur Reduzierung der Schwermetallgehalte durch Fraktionierung während und nach der Rotte", Inst.f.Orga.Chemie, Universität Tübingen, 1982
33. Hanke, R.; Fohl, A.: MKK-Anlage Strömstadt - Versuche zur Müllaufbereitung mit der UNIVERSA 1620 (1982) Forschungsbericht der Voest-Alpine und SÖ-RAB
34. Husz, G.: Ökologische Beurteilung der Kompostfraktion aus Sortieranlagen und ihre Verwertung im Land- und Weinbau, in Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Brennstoff aus Müll, Freitag Verlag Berlin (1984) D. 424-476

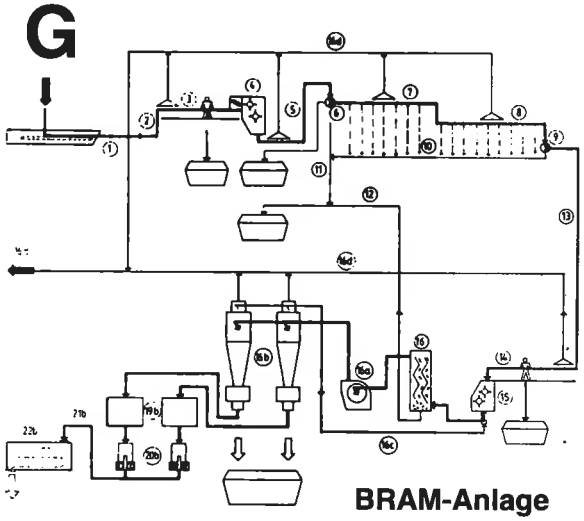
35. Jäger, B.: Eine Methode zur überschläglichen Ermittlung der Hausmüllmengen. Müll & Abfall 3 (1971) S. 19-20
36. Jäger, B.: Bestimmung der Zusammensetzung fester Abfallstoffe, Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Ziffer 1720, Erich Schmidt Verlag
37. Jäger, B.: Zusammensetzung des Hausmülls, Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Ziffer 1760, Erich Schmidt Verlag
38. Jäger, B.; Scheibel, R.: Versuche zur Separierung einer heizwertreichen Hausmüllfraktion in Siebraspeln, Müll & Abfall 6 (1981) S. 168-176
39. Knoch, J.: Die Bildung von Einwohnergleichwerten fester Abfallstoffe als Grundlage für eine systemunabhängige Gebührensatzung. Müll & Abfall 8 (1976) S. 221-225
40. Kümmlee, G.: Zum Verhalten von potentiellen Schadstoffen in Hausmüll und Hausmüllkompost, Dissertation TU-Berlin (1985)
41. Lorber, K.E.: Veränderung der Schadstoffgehalte im Müll durch Aufbereitungsprozesse und erwartete Auswirkung auf die Emission bei thermischer Nutzung, in: Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Kompostierung und Brennstoffgewinnung, Freitag Verlag Berlin (1983) S.747-773
42. Lorber, K.E.: Untersuchung zur Schadstoffbilanz eines Sortierprozesses - dargestellt am Beispiel der Wiener Rückgewinnungsanlage, in Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Brennstoff aus Müll, Freitag Verlag Berlin (1984), S. 561-576
43. Lunden, L.; Ahling, B.; Edner, S.: Emissioner vid förbränning av bränslefraktion framställd ur hushallsavfall, IVL, Stockholm (1982)
44. Marek, K.: Produktionsparameter und Einflußgrößen bei der Pelletierung, in: Hrsg. Thomé-Kozmiensky: Brennstoff aus Müll, E. Freitag Verlag Berlin (1984) S. 344-379
45. Mertens, B.: Hausmüllstatistik in Nordrhein-Westfalen, Müll & Abfall 6 (1974) S. 223-230
46. Montin, T.; Persson, P.-E.; Sundquist, S.: Separering - Kompostering Fältrapport fran 19 svenska avfallsverk, Statens Naturvardsverk, Rapport SNV PM 1804 (1984) - 2 Bände
47. Müller, H.: Rauchgasmessungen bei der Verwertung von Rückstandbrennstoffen, in Hrsg. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Brennstoff aus Müll, Freitag Verlag Berlin (1984) S. 495-520
48. Nicolai, V.: Untersuchung über die Müllmengen aus Hamburger Haushalten. Müll & Abfall 8 (1977) S. 220-226
49. N.N.: Plant Trails for Selection of Refuse Pulverising Plant for Westbury. (1978) Peabody Holmes
50. Pautz, D.; Pietrzeniuk, H.-J.: Abfall und Energie. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 13, 1984, Erich Schmidt Verlag Berlin
51. Pothmann, J. Verwertungsmöglichkeiten von Altpapier aus der getrennten Sammlung und der mechanisierten Sortierung von Haushaltsabfällen bei der Produktion von Papier und Pappe, in Abfallwirtschaft an der TU-Berlin Band 1 (1978), S. 350-363
52. Raicov, G.; Gutmann, V.: Erfahrungen aus dem Einsatz von RDF in einem Wirbelschichtofen, in Hrs. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Brennstoff aus Müll, Freitag Verlag Berlin (1984) S. 590-599
53. Reinhardt, J.J.; Ham, R.K.: Final Report on a Demonstration Project at Madison, Wisc., to Investigate Milling of Solid Wastes, U.S. EPA-3-G06-EC-00000-00S1 (1973) Vol. 1
54. Rietema, K.: On the Efficiency in Separating Mixtures of Two Components, Chem. Eng. Science, 7 (1957) 89
55. Scheffold, K.: Getrennte Erfassung von Wertstoffen und Sonderabfällen aus Haushaltungen, dargestellt am Beispiel Ravensburg, Forschungsbericht 103 01 228 (1984)
56. Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, VEB-Leipzig, 3. Auflage (1975) Band 1
57. Seyfried, C.F.; Doedens, H.; Tuminski, R.: Getrennte Sammlung von Altglas und Einfluß auf das Abfallaufkommen an Beispielen aus Norddeutschland. Abfallwirtschaft an der TU-Berlin Band 4 (1979) S. 231-257
58. Shin, K.C.: Einfluß der Struktur und Wirtschaft eines Siedlungsraumes auf Menge und Zusammensetzung des Hausmülls, Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Ziffer 1770
59. Stratton, F.E.; Alter, H.: Application of Bond Theory to Solid Waste Shredding. J. Environ. Eng. Vol. 104 (1978) No. EE1
60. Tabasaran, O.: Einsammlung und Transport von Müll mit Front- und Hinterkipperfahrzeugen und 4,4 m^3-Großbehältern. Müll & Abfall 8 (1976) S. 234-241
61. Tabasaran, O.: Separierung schwermetallhaltiger Hausmüllkomponenten durch Absieben. Müll & Abfall 1 (1984) S. 15-22
62. Terzek, G.J.; Savage, G.: Results of a Comprehensive Refuse Comminution Study, Waste Age, 6 (1975) S. 49 ff
63. Terzek, G.J.: Significance of Size Reduction in Solid Waste Management, U.S. EPA-600/2-77-131, Cincinnati, Ohio (1977)
64. Terzek, G.J.; Shiflett, G.R.: Parameters covering refuse comminution, Resource Recovery and Conservation, 1 (1979) S. 31-34
65. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Brennstoff aus Müll, Freitag Verlag Berlin (1984)
66. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Materialrecycling durch Abfallaufbereitung, Freitag Verlag Berlin (1983) Band 5
67. Thomé-Kozmiensky, K.J.: Energiegewinnung durch emissionsarme Verbrennung von Rückständen in Kleinanlagen, Freitag Verlag Berlin (1981) Band 2
68. Vesilind, A.P.; Rimer, A.E.: Unit Operations in Resource Recovery Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. (1981)
69. Vogel, G.: Systemsammlung von Altstoffen - ein Verfahren zur Abfallverwertung, Schriftenreihe des Instituts für Technologie und Warenwirtschaftslehre der WU-Wien, Bd 1 (1980) Wien
70. Vogel, G.: Studie über die getrennte Sammlung von Altstoffen - ein Modellversuch in Wien, Schriftenreihe Verpackungsforschung, H. 6 (1976) Wien
71. Vogel, G.: Altstoffsammlung im dichtverbauten Altstadtgebiet Wien - computerunterstützte Simulation zur Optimierung der Elemente von Altstoffsammelsystemen, Schriftenreihe des Instituts für Technologie und Warenwirtschaftslehre der WU-Wien, Bd. 3 (1980) Wien
72. Vogel, G.: Sammlung für Altstoffe aus dem Behörden- und Bürobereich, Schriftenreihe des Instituts für Technologie und Warenwirtschaftslehre der WU-Wien, Bd. 1 (1981), Wien
73. Vogtmann, H.; Schmeisky, H.; Fricke, K.; Turk, Th.; Bergmann, D.; Rehm, W.: Die Aktion "Grüne Tonne", Müll & Abfall 8 (1984) S.247-248
74. Werth, P.: Öffentliche Sammlung und getrennte Wertstofferfassung in Haushaltungen, Müll & Abfall 12 (1982) S. 346-349
75. Wienbeck, U.: Art und Menge der Abfälle in Hamburg - Ergebnis 1973. Müll & Abfall 7 (1974) S. 216-221
76. Worrell, W.A.; Veslind, P.A.: Testing and Evaluation of Air Classifier Performance, Resource Recovery Conserv., 4 (1979) S. 247-259

RECYCLING

RÜCKGEWINNUNG

- Wertstoff-Sortieranlagen mit Kleinanlagen
- Wertstoff-Rückgewinnung mit Komplettanlagen
- Müllsortier- und Pelletieranlagen zur BRAM-Herstellung
- Kompostieranlagen
- Altreifen-Aufbereitungsanlagen
- Bauschutt- und Straßenaufbruchrecycling mit stationären und mobilen Brecheranlagen
- Container, Absetzmulden, Glasbehälter, Preßcontainer, Großcontainer, Grüne Tonne

Beratung zum Vertrieb der gewonnenen Produkte!



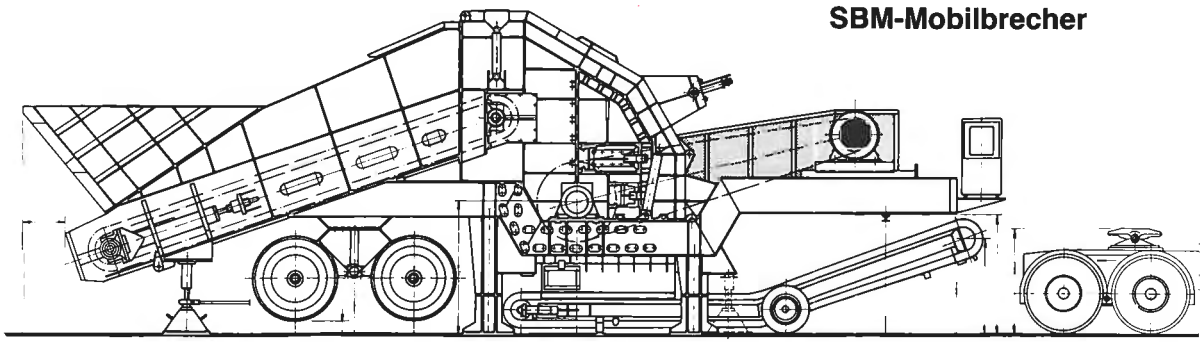
BRAM-Anlage

Ihr Partner in allen Fragen

SBM Wageneder
Gesellschaft m. b. H.

In der BRD vertreten durch:
ENERGIE-TECHNIK FROMM
Telefon 0201/30 53 00

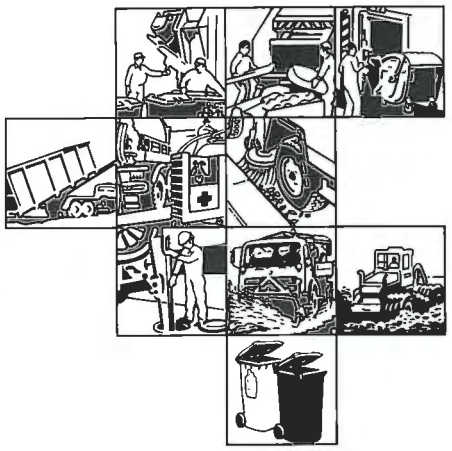
SBM-Mobilbrecher



Besuchen Sie uns auf der ENTSORGA ESSEN · 15.–18. Mai 1985 · Halle 5 · Stand 505

Schönmackers

Leistungsstark in Recycling und Entsorgung



Schönmackers plant, organisiert, informiert, sammelt, transportiert und beseitigt Abfälle aus Haushalt, Gewerbe und Industrie.

Schönmackers beseitigt Sondermüll, reinigt Straßen und Plätze, Bürgersteige und Kanäle in Städten, Gemeinden und Betrieben, sortiert und bereitet Abfälle zur Wiederverwertung auf.

Schönmackers plant, baut und betreibt Aufbereitungsanlagen.

Ebenso verfügt Schönmackers auf dem Sektor der getrennten Sammlung wiederverwertbarer Abfälle (System grüne Tonne und Bio-Tonne) wie auch auf dem Gebiet der Schadstoffsammlung aus Haushalten über langjährige Erfahrungen.

Städtereinigung Schönmackers GmbH
Am Selder 9 · 4152 Kempen 1
Telex 853 223 sch k

02152-1493-0

Beiheft 20 zu MÜLL und ABFALL

Die Beseitigung von Sondermüll

Beurteilung und Einteilung von Abfällen der gewerblichen Wirtschaft unter Berücksichtigung der Behandlungs- und Beseitigungsmöglichkeiten mit Hinblick auf die TA Abfall

Von Dr. Kurt von Beckerath, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

56 Seiten, DIN A4, kartoniert, Abonnementspreis DM 38,–, im Einzelbezug DM 42–, ISBN 3 503 02439 5

Geht man davon aus, daß Abfälle bestimmter Gruppen nur mit bestimmten Verfahren zu behandeln sind, und daß eine Vermischung solcher gruppenspezifischer Abfälle mit anderen Abfällen die Behandlung erheblich erschweren kann, so wird verständlich, daß dem Verursacher wie dem Beseitiger an einer an den vorhandenen Beseitigungsmöglichkeiten orientierten Einteilung gelegen ist.

Hier setzt diese Neuerscheinung an: Sonderabfälle, wie sie in der gewerblichen Wirtschaft anfallen, werden unter dem Gesichtspunkt der zur Verfügung stehenden Sondermüllbeseitigungsverfahren **beurteilt** und **klassifiziert.**

Erich Schmidt Verlag Berlin · Bielefeld · München

HORSTMANN
Rohstoff-Recycling-Anlagen
Tel.: 05731/*9951

Prozesswärme

aus

Hausmüll, BRAM, Altholz, Waldabfall

Mehrere Referenzen in Schweden z.B.
Bollnäs Västervik Lidköping

Projektierung
Lieferung
Aufbereitung
Förderung und Lagerung
Rauchgasreinigung

"Know How"
von Ofen und übrigen
Processausrüstungen
Projektleitung
Inbetriebnahme
Ausbildung

Svedala Arbrå

–Tochtergesellschaft von Allis-Chalmers–

Svedala-Arbrå AB, S-233 00 Svedala, Schweden
Fernspr.: +4640 401100. Fernschr.: 32390 Sasved S
Fax: +4640 40 47 39. Teletex: 2401-30 06 69

BRUKS

Box 46, S-820 10 Arbrå, Schweden
Fernspr. + 46278 40500. Fernschr. 47074 Bruksab S

IBAB

Box 652, S-601 15 Norrköping, Schweden
Fernspr. +4611 106290. Fernschr. 12442 FOTEX
Teletex 8155060

Das TRIENEKENS-K löst Abfall-Probleme

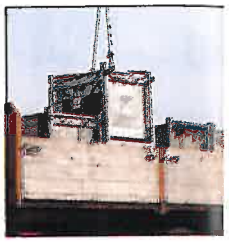
Bürgergerechte Vorsortierung von Glas und Papier

Großtechnische Sortierung des Haus- und Gewerbemülls

Rückgewinnung verwertbarer Rohstoffe

Rückführung in den Wirtschafts-kreislauf mit gesichertem Ver-trieb

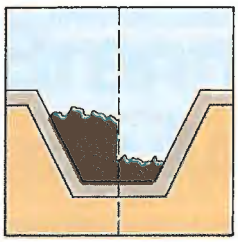
Reduzierung der Schadstoffe



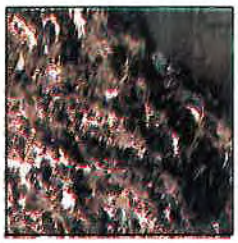
Umweltgerechte Behandlung und Vernichtung

onzept

auschutt für n Straßen- nterbau aus gener Auf- reitungsan- ge



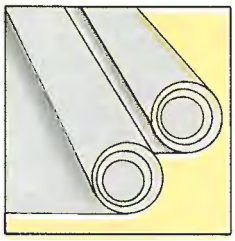
Längere Nutzungsdauer der Deponie



Hygienischer Kompost (Schadstoffgehalt unterhalb der Grenzwerte)

Rekultivierung

Wirtschaftliche Verfahrenstechnik



Know how für Beratung, Planung und Realisierung

TRIENEKENS

ökologische und ökonomische Abfallentsorgung

Bitte senden Sie mir detaillierte Informationen über das TRIENEKENS-Konzept

Name

Straße

PLZ/Ort

Tel.-Nr.

TRIENEKENS
Greefsallee 1–5
4060 Viersen 1

Das Müll-Handbuch:

Müll- und Abfallbeseitigung

Handbuch über die Sammlung, Beseitigung und Verwertung von Abfällen aus Haushaltungen, Gemeinden und Wirtschaft

– Müll-Handbuch –

Begründet auf Anregung des Bundesministers für Gesundheitswesen von Professor Dr.-Ing. E. h. W. Kumpf †, Ministerialrat a. D., Lt. RDir. a. D. K. Maas † und Professor Dr.-Ing. H. Straub, Stadtbaudirektor a. D.

Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. H. Straub, Stadtbaudirektor a. D., Prof. Dr. med. habil. Gottfried Hösel, Ministerialdirigent a. D., und Erster Direktor und Professor beim Umweltbundesamt Dipl.-Ing. Werner Schenkel, unter Mitwirkung in- und ausländischer Fachleute aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft.

Ergänzbare Ausgabe, DIN A 5, Ergänzungen von Fall zu Fall.

Abfallbeseitigung, Abfallbehandlung, abfallarme Technologie sind Stichworte, die jedem Betriebsleiter bzw. Beauftragten für Abfall Arbeitsgebiete umreißen, mit denen er sich erst seit einigen Jahren ernsthaft beschäftigen muß. Wo findet er den gesetzlichen Rahmen, die Ausführungsbestimmungen, die Einzelregelungen und Verordnungen? Wo kann er sich über den Hintergrund dieser Entwicklungen unterrichten? Wo findet er die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen?

Das Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung hat seit 1963 alle Fragen der Abfallbeseitigung aufgegriffen und in dem – in der Zwischenzeit fünf Bände umfassenden – deutschen Standardwerk dargestellt. Zunächst lag der Schwerpunkt auf der Abfallbeseitigung, den Sammel- und Transportsystemen, den Techniken und Methoden. Damit diente das Handbuch zunächst mehr den Interessen von **Verwaltung** und **Wissenschaft.** In den letzten Jahren wurden jedoch vor allem verstärkt die Belange von **Industrie** und **Gewerbe** beim systematischen Auf- und Ausbau des *Müll-Handbuchs* berücksichtigt.

Das Abfallwirtschaftsprogramm der Bundesregierung hat zum Bewußtsein gebracht, daß Produktion, Verwertung und Beseitigung von Abfall integraler Bestandteil der Wirtschaftspolitik ist. Folglich wurden im Handbuch die Kapitel Behandlung, Verwertung und Ablagerung besonderer Art wesentlich erweitert. Ziel ist eine **detaillierte Problemdarstellung der einzelnen Branchen** aus der Sicht der Abfallwirtschaft und das Aufzeigen von Lösungsmöglichkeiten an ausgewählten Abfallarten.

Damit ist das Ziel erreicht, das *Müll-Handbuch* zum **Standardwerk auch für den Betriebsleiter und den Betriebsbeauftragten für Abfall** zu erweitern.

Das Handbuch der *Müll- und Abfallbeseitigung* ist somit die fundierte „Verständigungsgrundlage" für die Kontakte zwischen Behörde und Betrieb auf dem Gebiet der Sammlung, Beseitigung und Verwertung von Abfällen.

In diesem Standardwerk wird der Bereich „Müll und Abfall" von über 120 namhaften Mitarbeitern unter allen Aspekten behandelt:

- Recht und Verwaltung (z. B.: Gesetze, Vorschriften, Richtlinien, Merkblätter, Umweltprogramme mit Fortschreibung usw.)
- Technik (z. B.: Sammlung, Transport, Ablagerung, Kompostierung, Verbrennung, Verwertung usw.)
- Naturwissenschaft (z. B.: Hygiene, Biologie, chemisch-physikalische Analysen usw.)

Das Urteil der Fachpresse:

„Dieses große ‚Müll-Handbuch' gilt in Praxis und Wissenschaft seit Jahren als das große Standardwerk des Fachgebietes. Von namhaften Fachleuten begründet, wird das Werk heute von Experten weitergeführt, die auf Grund ihrer beruflichen Tätigkeit die Vollständigkeit und Aktualität des ‚Müll-Handbuchs' zu jeder Zeit zu garantieren vermögen."

Die Gemeinde
Zeitschrift des Gemeindetages Baden-Württemberg

„Das Handbuch zur Müll- und Abfallbeseitigung – ‚MÜLL-Handbuch' ist ein Standardwerk des gesamten Fachgebietes Müll und Abfall. In breitester und intensivster Weise werden hier die grundlegenden Probleme des Müll- und Abfallwesens dargestellt ..."

Kommunalpolitische Blätter

Bitte fordern Sie unser Verzeichnis zum ESV-Programmbereich Umwelt an:
Erich Schmidt Verlag GmbH · Genthiner Str. 30 G · 1000 Berlin 30 · Tel. 030/2 61 17 41

Recht der Abfallbeseitigung des Bundes und der Länder

Kommentar zum Abfallbeseitigungsgesetz, Nebengesetze und sonstige Vorschriften

Von Prof. Dr. med. habil. Gottfried Hösel, Ministerialdirigent a. D., und Dr. jur. Heinrich Frhr. von Lersner, Präsident des Umweltbundesamtes, Berlin

Ergänzbare Ausgabe, DIN A 5, Ergänzungen von Fall zu Fall.

„... Die Namen der Verfasser, die auch die geistigen Väter des Abfallbeseitigungsgesetzes sind und damit, wie niemand anders den für einen derartigen Gesetz- und Verordnungsband notwendigen Überblick haben, sprechen für sich. Der hier vorliegende und fortgeführte Sammelband über die gesetzlichen Grundlagen der Abfallbeseitigung wird allen, mit diesen Problemen befaßten Institutionen, aber auch Hygiene-Instituten und dem Öffentlichen Gesundheitsdienst ein unentbehrlicher Helfer sein."

Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene

Technische Vorschriften für die Abfallbeseitigung

Ergänzbare Sammlung der Technischen Anleitungen, Technischen Regeln, Richtlinien, Merkblätter, Musterblätter u. ä. für Vorbereitung, Planung und Durchführung von Maßnahmen zur schadlosen Beseitigung von Abfällen aus Haushaltungen, Gemeinden, gewerblichen Betrieben und Landwirtschaft einschließlich der Maßnahmen gesundheitstechnischer und finanzieller Art

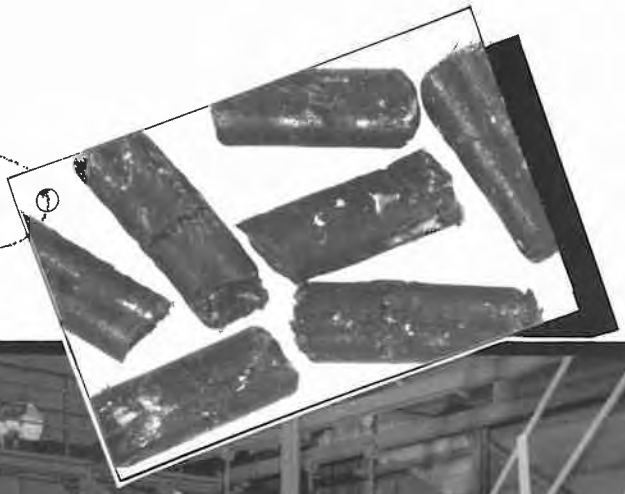
Herausgegeben von Prof. Dr. med. habil. Gottfried Hösel, Ministerialdirigent a. D., und Prof. Dr.-Ing. E. h. W. Kumpf †, Ministerialrat a. D., unter Mitarbeit von Dr.-Ing. Karl Lindner, Regierungsdirektor im Bundesminsterium des Innern

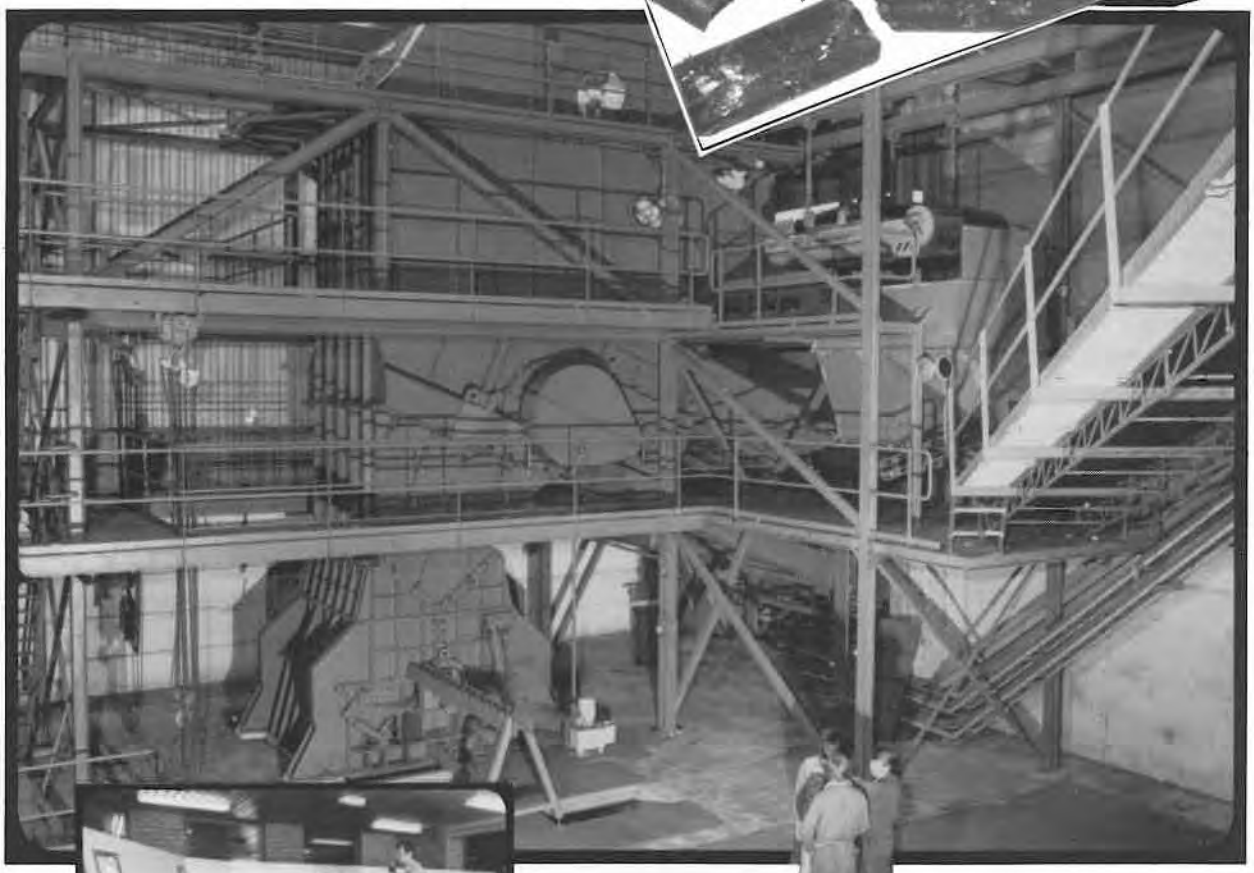
Ergänzbare Ausgabe, DIN A 5, Ergänzungen von Fall zu Fall.

„Mit dieser Loseblattsammlung hat der E. Schmidt Verlag erneut ein Kompendium geschaffen, das für die auf diesem Gebiet tätigen Fachleute und Institutionen von größtem Wert ist. Für den einzelnen wäre es unmöglich, mit einem vertretbaren Arbeitsaufwand eine vergleichbare Unterlagensammlung auf dem laufenden zu halten ... Eine Gliederung nach Kennzahlen und ein dreifaches Inhaltsverzeichnis, nach Quellen und nach etwa 5000 Stichworten ist wohl kaum noch zu übertreffen."

gwf – wasser/abwasser

Icopower Brennstoff aus Müll





Der Entwurf für dieses gigantische Abfallverarbeitungs-Projekt in Amsterdam und die Ausführung desselben wurden in Zusammenarbeit mit unserem Unternehmen realisiert.

Durch diese Entwicklung wurde ein bedeutender Teil der Abfallproblematik gelöst.
Obendrein wird mit dieser Anlage ein umweltfreundlicher und wirtschaftlich anziehender fester Brennstoff aus Abfallstoffen hergestellt.

Interesse an weiterer Information?
Dan bitte schriftlich, telefonisch oder per FS mit Visno Haarlem Holland Kontakt aufnehmen.

Visno

Visno Machinefabriek bv · Spaarndamseweg 224-252 · Haarlem · Holland · Tel. (0031) 23254458 · FS 71050

Müll und Abfall

Fachzeitschrift für Behandlung und Beseitigung von Abfällen

Organ für die gesamte Entsorgung und Abfallwirtschaft

Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) – Mitteilungen des Arbeitskreises für die Nutzbarmachung von Siedlungsabfällen e.V. (ANS)

Herausgegeben in Zusammenarbeit mit namhaften Fachleuten aus Wissenschaft, Verwaltung, Technik und Wirtschaft

Schriftleitung: Dipl.-Ing. M. Ferber. **Erscheinungsweise:** monatlich mit je etwa 30 Seiten DIN A4

Zurückliegende Jahrgänge sind in gebundener Form erhältlich. Bitte fordern Sie ausführliche Informationen hierüber an!

Mit der stetig wachsenden Menge zu beseitigenden Abfalls jeder Art wachsen auch die Probleme derer, die an der Abfallbeseitigung und -behandlung beteiligt sind – seien es Kommunen, Fuhrparks- und Stadtreinigungsbetriebe, die Industrie, Fachverbände oder Fachingenieure und Wissenschaftler.

Um so dringender benötigen alle diese ein Informationsmittel und eine Arbeitsgrundlage, wie die Fachzeitschrift „MÜLL und ABFALL": Sie ist das Forum zur Diskussion von Ergebnissen, Erfahrungen und Problemen aus Theorie und Praxis, sie berichtet aktuell und kritisch über neue Entwicklungen und Ereignisse, über Tagungen, Messen und Ausstellungen.

Die Mitarbeit von Experten aus Forschung, Industrie, Verwaltung und Organisation gibt die Gewähr für die ausgewogene und fundierte Berichterstattung und das hohe Niveau der aktuellen fachlichen Beiträge.

Erich Schmidt Verlag Berlin · Bielefeld · München

Abfall und Energie

Einsparung und Nutzung von Energie durch Verbrennung, Pyrolyse, Biogas, Recycling und Abfallvermeidung

Von Dr.-Ing. Dieter Pautz und Dr.-Ing. Hans-Joachim Pietrzeniuk, beide im Umweltbundesamt

VII, 191 Seiten DIN A 5, kartoniert, DM 48,–, ISBN 3 503 02374 7
Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 13

In den letzten Jahren hat sich die Diskussion um eine umweltgerechte Abfallbeseitigung eindeutig verlagert hin zur Abfallverwertung. Dabei stand die Möglichkeit der Energiegewinnung aus Abfall, aber auch die der Energieeinsparung durch die Verwertung bzw. das Vermeiden von Abfällen im Vordergrund.
Die Autoren haben aus der Sicht der Abfallwirtschaft die Möglichkeiten und Grenzen der Energiegewinnung bzw. der Energieeinsparung aufgezeigt und sich dabei nicht nur auf vorhandene Literatur gestützt, sondern eine Vielzahl eigener Forschungs- und Untersuchungsergebnisse in die Arbeit einfließen lassen.

Der Band stellt den erstmaligen Versuch dar, den Anteil, den einzelne Maßnahmen der Abfallwirtschaft zur Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland beitragen können, quantitativ zu bestimmen. Fragen nach dem Energieeinsparungspotential verschiedener Recyclingstechniken werden ebenso beantwortet wie Fragen nach der Energierelevanz ausgewählter Abfallvermeidungsmaßnahmen.

Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München

Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft

Herausgegeben von Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. in Stuttgart (FEI) Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart

Band 13
Entscheidungshilfen für den Abfallwirtschaftler
VII, 247 Seiten, DAN A 5, kartoniert, DM 28,50; ISBN 3 503 01391 1

Band 14
Standsicherheit von Deponien für Hausmüll und Klärschlamm
165 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 29,–; ISBN 3 503 01399 7

Band 16
Schadstoffentfrachtung kommunaler Abfälle sowie Verwertungsgebot in der Praxis
206 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 30,–; ISBN 3 503 02018 7

Band 17
Folgemaßnahmen an Abfalldeponien
295 Seiten, DIN A 5, kartoniert, DM 40,–; ISBN 3 503 02019 5

Erich Schmidt Verlag
Berlin · Bielefeld · München

Recycling

von Abfällen

- schützt die Umwelt
- führt verwertbare Produkte in den Kreislauf zurück

125 Jahre
Years · Années · Anni · Años
BÜHLER

Kompost

durch Fermentieren
von Abfällen

Streudünger

durch Trocknung/Hygienisierung
von Klärschlamm

Energie

durch Rückgewinnung von
brennbaren Abfällen in Form
von Pellets, die für
konventionelle Feuerungen
geeignet sind

BÜHLER
BÜHLER-MIAG

GEBRÜDER BÜHLER AG
CH-9240 Uzwil/Schweiz
Tel. (073) 501111, Telex 883131 gbu ch

BÜHLER-MIAG GmbH
Postfach 3369, D-3300 Braunschweig
Tel. (0531) 5941, Telex 952700-0 bmd

Abteilung Umwelttechnik