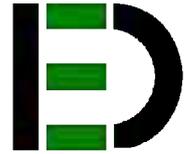




Montanuniversität Leoben

Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik

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



Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung zur Umsetzung der Deponieverordnung

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Montanistischen Wissenschaften**

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Michael Nelles

Leoben, Mai 1998

Danksagung

Die vorliegende Arbeit basiert auf umfangreichen praktischen Untersuchungen, die nur aufgrund der starken Unterstützung zahlreicher Personen bzw. Institutionen möglich waren. Hierfür möchte ich mich herzlich bedanken.

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. **Karl E. Lorber** möchte ich dafür danken, daß ich die Entwicklung des Institutes für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) von Anfang an mitgestalten konnte und trotzdem die Freiheiten hatte, die Arbeitsgruppe „Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung (MBR)“ aufzubauen. Außerdem konnte ich die Projekte akquirieren und abwickeln, deren Ergebnisse die Basis für die vorliegende Arbeit darstellen. Als direkter Betreuer und 1. Gutachter der Dissertation stand er immer mit Rat und Tat zur Verfügung. Univ.Prof. Dr.-Ing. **Martin Faulstich** möchte ich dafür danken, daß er sich, trotz seines engen Terminkalenders, als 2. Gutachter zur Verfügung gestellt hat.

Für die finanzielle Unterstützung dieser und anderer Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR möchte ich insbesondere Hofrat Dipl.-Ing. **Gerhard Jägerhuber** (Fachabteilung Ic - Abfallwirtschaft, Amt der Steiermärkischen Landesregierung) und Dipl.-Ing. **Christian Holzer** (Sektion Abfallwirtschaft, BMUJF) danken. Dem Geschäftsführer des Mürzverbandes, Herrn Dipl.-Ing. **Werner Folk** und seinen Mitarbeitern möchte ich danken, daß die Untersuchungen an der MBRA Allerheiligen durchgeführt werden konnten und diese tatkräftig unterstützt wurden. Auch für den Einsatz der Firma **Saubermacher** im Rahmen der Restmüllsortierungen möchte ich mich bedanken.

Bedanken möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des IED bzw. der Arbeitsgruppe MBR, die ganz wesentlich zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben. Dies gilt insbesondere für Dipl.-Ing. **Manfred Harant**, der in den letzten 2 Jahren hervorragende Arbeit geleistet hat. Aber auch bei den (ehemaligen) studentischen Mitarbeitern Dipl.-Ing. **Thomas Angerer**, Dipl.-Ing. **Wolfgang Göbel**, Dipl.-Ing. **Christina Lampe**, Dipl.-Ing. **Jürgen Liedl**, **Andreas Neff** und **Lukas Ritter** möchte ich mich bedanken. Das gleiche gilt für Univ.DoZ. Dr. **Bernhard Raninger**, der dem IED als wertvoller Berater, mit mehr als 20-jähriger Erfahrung auf dem Gebiet der MBR, zur Verfügung steht.

Stellvertretend für das umweltanalytische Labor des IED möchte ich mich bei dem Laborleiter Mag. Dr. **Michael Hofer** und den Mitarbeitern **Bernd Grasser** und **Christian Lackner** bedanken, da durch deren Einsatz der Aufbau des Labors bereits im Sommer 1996 weitgehend abgeschlossen war und die umfangreichen Laboranalysen durchgeführt werden konnten.

Besonders bedanken möchte ich mich aber bei meiner Frau **Stephanie Nelles**, die 1993 die schwierige Entscheidung getroffen hat, mit mir von Berlin nach Österreich zu gehen. Ohne ihre ständige Unterstützung und das Verständnis für den zeitlichen Einsatz im Rahmen des Institutsaufbaus wäre die vorliegenden Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung (MBR)	4
2.1	Historische Entwicklung.....	4
2.2	Restabfälle	4
2.3	Verfahrensvarianten.....	7
2.3.1	Übersicht	7
2.3.2	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD)	9
2.3.3	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung (MBRVV)	11
2.3.4	Mechanisch-biologisches Restabfallsplitting (MBRS).....	13
2.3.5	Sonderfälle	16
3	Deponierung von Reststoffen aus der MBR	18
3.1	Abfallrechtliche Rahmenbedingungen in Österreich.....	18
3.1.1	Abfallwirtschaftsgesetz (AWG)	18
3.1.2	Deponieverordnung (DVO).....	18
3.1.3	Wasserrechtsgesetz (WRG).....	21
3.1.4	Altlastensanierungsgesetz (AlsaG)	22
3.2	Abfallrechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland.....	24
3.3	Parameter zur Beurteilung der Deponierbarkeit	27
3.4	Vorteile der MBR im Vergleich zur direkten Deponierung	31
4	Betriebsanlagen zur MBR in Österreich.....	34
4.1	Übersicht.....	34
4.1.1	Betriebsanlagen.....	34
4.1.1	Pilotprojekte und Studien	35
4.2	Anlageninput.....	39
4.3	Mechanische Vorbehandlung.....	40
4.4	Biologische Behandlung.....	43
4.5	Mechanische Nachbehandlung	45
4.6	Feste Reststoffe.....	46
Inhaltsverzeichnis		Seite

4.6.1	Verwertung und Entsorgung	46
4.6.2	Schadstoffgehalte.....	48
4.6.3	Oberer Heizwert	51
4.7	Gasförmige Emissionen.....	52
4.8	Sonstige Emissionen	55
5	Fallbeispiel: Mürzverband.....	57
5.1	Einzugsgebiet, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur	57
5.2	Abfallarten und -mengen	59
5.3	Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlage (MBRA) am Standort Allerheiligen	62
6	Zusammensetzung des Restmülls.....	66
6.1	Restmüllsortierungen.....	66
6.1.1	Konzeption und Durchführung.....	66
6.1.2	Sortierergebnisse	70
6.1.2.1	Eckdaten von Probenahme und Sortierung.....	70
6.1.2.2	Sommer 1996	71
6.1.2.3	Herbst 1996	72
6.1.2.4	Winter 1996/97	73
6.1.2.5	Frühjahr 1997	74
6.1.2.6	Zusammenfassung der 4 Sortierungen	76
6.1.3	Auswertung der Ergebnisse	78
6.1.3.1	Jährliches Restmüllaufkommen und dessen Zusammensetzung.....	78
6.1.3.2	Erfassungsquoten für Altstoffe.....	79
6.2	Laboranalysen	81
6.2.1	Konzeption und Durchführung.....	81
6.2.2	Analysenergebnisse	82
6.2.2.1	Oberer Heizwert.....	82
6.2.2.2	Schadstoffgehalte	84
6.2.3	Auswertung der Ergebnisse	85
6.2.3.1	Organischer Anteil und oberer Heizwert der Sortierfraktionen	85
6.2.3.2	Organische Fracht des Restmülls.....	87
6.2.3.3	Deponierung der Feinfraktion	90
Inhaltsverzeichnis		Seite
7	Zusammensetzung des Klärschlammes	92
7.1	Konzeption und Durchführung der Untersuchungen.....	92

7.2	Darstellung und Auswertung der Ergebnisse	93
8	Theoretische Überlegungen zur Verringerung des oberen Heizwertes in der MBRA Allerheiligen	96
8.1	Anlageninput	96
8.2	Abtrennung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien	98
8.3	Biologischer Abbau der organischen Substanz	100
8.3.1	Verrottbarer Anteil des Restmülls	100
8.3.2	Verrottbarer Anteil des Klärschlammes	106
8.4	Theoretische Heizwertbilanz	107
9	Rotteversuche an der MBRA Allerheiligen	111
9.1	Konzeption und Durchführung der Untersuchungen	111
9.1.1	Konzeption	111
9.1.2	Durchführung	114
9.2	Praktische Ergebnisse	119
9.2.1	Parameteränderungen im Verlauf der Rotte	119
9.2.1.1	Wassergehalt	119
9.2.1.2	Abbau der organischen Substanz	123
9.2.1.3	Verminderung des oberen Heizwertes	125
9.2.1.4	Schadstoffgehalte	127
9.2.1.5	Biologische Stabilität	131
9.2.2	Siebversuche	132
9.2.2.1	Großtechnische Absiebung	132
9.2.2.2	Laborabsiebung	136
9.2.3	Massenbilanz	139
9.3	Bewertung der Ergebnisse und Ansätze zur Optimierung	141
10	Korrelationen zwischen H_0 und Glühverlust bzw. TOC	147
11	Forschungsbedarf	155
	Inhaltsverzeichnis	Seite
12	Zusammenfassung	158
13	Verzeichnisse	162

13.1	Literatur	162
13.2	Abbildungen.....	168
13.3	Tabellen	170
13.4	Abkürzungen.....	172
Anhang.....		176



1 Einleitung

1.1 Problemstellung

In Europa gehört Österreich zu den führenden Ländern auf dem Gebiet des Umweltschutzes und dies gilt auch für die Abfallwirtschaft. Insbesondere in den Bereichen Vermeidung und Verwertung von Abfällen wurden in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. Wie in anderen Ländern gibt es aber auch in Österreich das Problem der direkten Deponierung von Abfällen. Die mit dieser Entsorgungspraxis verbundenen Umweltprobleme (Deponiegas, Sickerwasser, Altlastenproblematik) sind spätestens seit Mitte der 80er Jahre allgemein bekannt. In Österreich werden derzeit z.B. jährlich ca. 55 % (fast 1 Mio. Mg) der kommunalen Restabfälle sowie etwa 200.000 Mg entwässerte kommunale Klärschlämme (30 % TS) ohne weitere Vorbehandlung deponiert [1].

Die österreichische Bundesregierung hat 1996 auf Basis des Abfallwirtschaftsgesetzes die Deponieverordnung erlassen. Außerdem wurde 1996 das Altlastensanierungsgesetz und im Frühjahr 1997 das Wasserrechtsgesetz novelliert. Mit diesem Maßnahmenpaket werden die Anforderungen für die Ablagerung von Abfällen in Österreich verschärft und der Übergang zu einer umweltverträglichen Deponierung reaktionsarmer Abfälle eingeleitet. Grundsätzlich gilt ab 2004 ein obertägiges Ablagerungsverbot für Abfälle mit einem TOC > 5 % TS, was in der Regel eine thermische Behandlung voraussetzt.

Im Gegensatz zur deutschen TA Siedlungsabfall (TASI) wurde in der Deponieverordnung eine explizite Ausnahmeregelung für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle integriert. Danach dürfen diese Reststoffe in gesonderten Kompartimenten von Massen-abfalldeponien abgelagert werden, wenn der obere Heizwert (H_o) geringer als 6.000 kJ/kg TS ist und die Grenzwerte für die Gesamtschadstoffgehalte bzw. Eluatwerte eingehalten werden. Insbesondere die Einführung des Parameters H_o als Kriterium für die Deponierbarkeit ist in der Fachwelt umstritten, da die Festlegung der 6.000 kJ/kg TS primär das Ergebnis der politischen Diskussion war und fundierte naturwissenschaftliche Untersuchungen bis heute fehlen.

Die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen hat seit mehr als 20 Jahren einen festen Platz in der österreichischen Abfallwirtschaft. Das ursprüngliche Ziel vieler Anlagenkonzepte der 70er und 80er Jahren war es, aus Mischmüll mit oder ohne Zugabe von Klärschlamm einen verwertbaren Kompost zu erzeugen. Die im Verfahrensverlauf abgetrennte heizwertreiche Leichtfraktion sollte in industriellen Feuerungsanlagen thermisch und die abgeschiedenen Fe-Metalle stofflich verwertet werden.

Während die Verwertung der Fe-Metalle relativ unproblematisch war und ist, wurde die Verwertung von Müll- bzw. Müllklärschlammkompost immer schwieriger. Dieser Kompost lässt sich heute aufgrund der im Vergleich zu Bioabfallkomposten hohen Schadstoff- und Störstoffgehalte nur noch sehr eingeschränkt, z.B. im Rahmen von Deponierekultivierungen, verwerten. Die Verbrennung von Siebresten wurde mangels fehlender regionaler

Verbrennungskapazitäten praktisch nicht umgesetzt. Die meisten Betreiber nutzen die vorhandene Anlagentechnik inzwischen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR) vor der Deponierung und wollen künftig die Anforderungen der Deponieverordnung erfüllen.

Dieser Umstand hat eine ganze Reihe von Aktivitäten auf dem Gebiet der MBR in Österreich ausgelöst. Am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) der Montanuniversität Leoben wurde Mitte 1995 eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe eingerichtet, die sich mit dieser Thematik auseinandersetzt.

1.2 Zielsetzung

Das primäre Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den derzeitigen Stand der MBR in Österreich zu dokumentieren und deren Perspektiven auf Basis der neuen abfallrechtlichen Rahmenbedingungen aufzuzeigen. Dabei steht die Deponierbarkeit der festen Reststoffe aus der MBR und damit die Heizwertregelung der Deponieverordnung im Vordergrund. Ausgehend von dieser Zielsetzung sind folgende Teilbereiche systematisch zu bearbeiten.

Zunächst sollen die wesentlichen Grundlagen der MBR bzw. Deponierung der festen Reststoffe zusammengefaßt werden. Nach einer kurzen Beschreibung der Entwicklung der letzten 20 Jahre in Österreich und Zusammenstellung relevanter Restabfälle ist eine systematische Einteilung der Verfahren zur MBR vorzunehmen. Anschließend werden die neuen abfallrechtlichen Rahmenbedingungen beschrieben und die Parameter bzw. Analysenverfahren zur Beurteilung der Deponierbarkeit von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen sollen kurz diskutiert werden. Schließlich sind hier die Vorteile der Deponierung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen im Vergleich zur konventionellen direkten Ablagerung darzulegen.

Anschließend soll der derzeitige Stand der MBR in Österreich erläutert werden, wobei nach einer Übersicht der Betriebsanlagen, Modellversuche, Pilotprojekte und Studien detailliert auf Anlageninput, Verfahrenstechnik, feste Reststoffe und Emissionen der Betriebsanlagen einzugehen ist. Durch diese Untersuchungen soll geklärt werden, welche Anforderungen der Deponieverordnung an das Rottegut bereits heute eingehalten werden. Außerdem sind die (potentiellen) Defizite der Anlagen aufzuzeigen, die zu beheben sind, um künftig einen umweltverträglichen Betrieb gemäß Stand der Technik zu gewährleisten.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen sollen weitergehende Untersuchungen, vorwiegend am Beispiel der modernisierten mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlage (MBRA) des Mürzverbandes in Allerheiligen, durchgeführt werden, die sich insbesondere aus folgenden Gründen dafür anbietet.

Der Mürzverband entsorgt den gesamten kommunalen Restmüll aus dem, zu etwa gleichen Teilen städtisch und ländlich strukturierten, Einzugsgebiet mit ca. 110.000 Einwohnern in der

MBRA Allerheiligen. Größe und Struktur des Abfallwirtschaftsverbandes entsprechen in etwa dem österreichischen Durchschnitt und die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen zur Getrenntsammlung von Alt- und Problemstoffen sind praktisch abgeschlossen, so daß künftig keine wesentlichen Änderungen in der Zusammensetzung des Restmülls zu erwarten sind. Wie in den meisten österreichischen MBRA wird in Allerheiligen kommunaler Klärschlamm mitbehandelt. Die MBRA Allerheiligen hat im Frühjahr 1996 den Regelbetrieb aufgenommen und war zu diesem Zeitpunkt die einzige Betriebsanlage in Österreich, deren Konzeption im wesentlichen den Anforderungen der Deponieverordnung entsprach. Somit war es möglich, Versuche zur Leistungsfähigkeit im Praxismaßstab durchzuführen.

Vorab sind die abfallwirtschaftlichen Charakteristika des Mürzverbandes wie anfallende Abfallmengen und Verfahrenskonzeption der MBRA Allerheiligen darzustellen. Da die Leistung einer MBRA entscheidend von der stofflichen Zusammensetzung des Anlageninput abhängt, ist die möglichst genaue Charakterisierung des Restmülls und Klärschlammes erforderlich. Die wesentlichen Ziele der Restmülluntersuchungen sind die Ermittlung der stofflichen Zusammensetzung für die einzelnen Jahreszeiten und im Jahresmittel, die Bestimmung der organischen Gesamtfracht bzw. des biologisch abbaubaren Anteils im Restmüll und die Ermittlung der organischen Summenparameter GV, TOC und H_0 für die Sortierfraktionen. Mittels Klärschlammuntersuchungen sollen die organischen Summenparameter sowie Nähr- und Schadstoffgehalte bestimmt werden, um zu klären, welche Frachten in die MBRA Allerheiligen gelangen bzw., ob eine stoffliche Verwertung der Klärschlämme (beispielsweise in der Landwirtschaft) möglich ist.

Auf Basis der Ergebnisse zum Anlageninput sollen theoretische Überlegungen zur Verringerung des oberen Heizwertes durch die MBR angestellt werden. Nach der Diskussion der beiden grundlegenden Möglichkeiten, die mechanische Abtrennung der heizwert-reichen, biologisch nicht abbaubaren organischen Materialien bzw. der biologische Abbau der organischen Substanz, soll eine theoretische Heizwertbilanz für die MBRA Allerheiligen erstellt werden. Anschließend soll der Versuch unternommen werden, die theoretischen Ergebnisse durch praktische Versuche an der MBRA Allerheiligen zu verifizieren. Zu diesem Zweck werden 22-wöchige Rotteversuche mit anschließender Absiebung durchgeführt und ausgewertet.

Bisher liegen nur wenige Analysenergebnisse zum oberen Heizwert von Restmüll bzw. Restmüllfraktionen, Klärschlamm und Rottegut aus der MBR vor. Deshalb soll der Versuch unternommen werden, auf Basis der verfügbaren Meßwerte, Korrelationen zu den klassischen Parametern Glühverlust und TOC zu ermitteln. Abschließend sollen der Forschungsbedarf auf dem Gebiet der MBR ermittelt und die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit zusammengefaßt werden.

2 Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung (MBR)

2.1 Historische Entwicklung

Die mechanisch-biologische Behandlung von Abfällen hat seit mehr als 20 Jahren einen festen Platz in der österreichischen Abfallwirtschaft. Das ursprüngliche Ziel vieler Anlagenkonzepte der 70er und 80er Jahren war es, aus Mischmüll mit oder ohne Zugabe von Klärschlamm einen verwertbaren Kompost zu erzeugen. In dieser Zeit wurden bis zu 25 % des in Österreich anfallenden Hausmülls in Müll/Klärschlamm-Kompostierungsanlagen behandelt. Die im Verfahrensverlauf abgetrennte heizwertreiche Leicht- bzw. Grobfraction sollte in industriellen Feuerungsanlagen thermisch und die abgetrennten Fe-Metalle stofflich verwertet werden [2].

Während die Verwertung der Fe-Metalle relativ unproblematisch war und ist, wurde die Verwertung von Müll- bzw. Müllklärschlammkompost immer schwieriger. Die Verbrennung von Siebresten wurde mangels fehlender regionaler Verbrennungskapazitäten praktisch nicht umgesetzt. Die Folge ist, daß dieses Material derzeit in den meisten Anlagen abgetrennt und teilweise zu Ballen gepreßt wird, schließlich aber auf Deponien gelangt.

Der Müllkompost bzw. Müllklärschlammkompost läßt sich heute aufgrund der im Vergleich zu Bioabfallkomposten hohen Schadstoff- und Störstoffgehalte nur sehr eingeschränkt, beispielsweise im Rahmen von Deponierekultivierungen, verwerten. Trotz der seit 1.1.1995 per Bundesverordnung vorgeschriebenen, getrennten Bioabfallsammlung und Verwertung spielt die Mischmüllkompostierung in Österreich noch immer eine, wenn auch untergeordnete, Rolle. Die meisten Betreiber nutzen die vorhandene Anlagentechnik inzwischen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR) und wollen künftig die Anforderungen der Deponieverordnung erfüllen.

2.2 Restabfälle

Gemäß § 2 (1) AWG sind Abfälle "bewegliche Sachen, deren sich der Eigentümer oder Inhaber entledigen will oder entledigt hat" (subjektiver Abfallbegriff) oder "deren Erfassung und Behandlung als Abfall im öffentlichen Interesse geboten ist" (objektiver Abfallbegriff). Der Begriff Restabfall wird in der vorliegenden Arbeit für Abfälle verwendet, die weder stofflich noch thermisch verwertet werden (können) und deshalb einer "sonstigen Behandlung" gemäß § 1 (2) AWG zu unterziehen sind. Verursacher von Restabfällen sind die privaten Haushalte und ähnliche Einrichtungen (Restmüll, Sperrmüll usw.) sowie die Gewerbe- bzw. Industriebetriebe in denen hausmüllähnliche und produktionsspezifische Restabfälle anfallen.

Für die MBR sind insbesondere Restabfälle geeignet, die erhöhte Anteile an biologisch

abbaubarer organischer Substanz aufweisen. Es können aber auch Restabfälle mitverarbeitet werden, die im wesentlichen aus hochkalorischen biologisch nicht abbaubaren Materialien bestehen (z.B. bestimmte Gewerbeabfälle) und nur über die mechanischen Behandlungslinien laufen.

Der sog. **Systemmüll**, d.h. **Restmüll** der privaten Haushalte und der an die kommunale Restmüllsammmlung angeschlossenen Industrie- und Gewerbebetriebe macht den Hauptinput der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen (MBRA) aus und ist in der Regel als mengenbestimmende Trägerkomponente zu sehen. Durch die nahezu flächendeckende Einführung der Getrenntsammlung von biogenen Abfällen und Altstoffen wie Glas, Papier, Metalle und Verpackungen ist die Restmüllmenge in Österreich in den letzten 10 Jahren stark zurückgegangen. Während 1990 noch ca. 1,9 Mio. Mg Restmüll angefallen sind, waren es 1993 etwa 1,5 Mio. Mg und nach (optimistischen) Schätzungen des UBA werden für das Jahr 2000 ca. 720.000 Mg Restmüll prognostiziert [1]. Nach eigener Schätzung werden auch im Jahr 2000 etwa 1 Mio. Mg Restabfall in Österreich anfallen. Ob und wenn ja welchen Einfluß die Getrenntsammlung auf die Zusammen-setzung des Restabfalls hat, soll durch Restmüllsortierungen und Analysen geklärt werden (siehe Kapitel 6).

Bei den Maßnahmen zur Sammlung und Reinigung von Abwässern in industriellen und kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) fallen Kanalräum-, Sandfang-, Rechengut, Fettabscheiderinhalte und **Klärschlamm** an. Inklusiv der Fäkalschlämme aus Hauskläranlagen und Sammelgruben wird das Massenpotential für die Abfälle aus der Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung und Gewässernutzung im BAWP 1995 mit 2,3 Mio. Mg für das Bezugsjahr 1991 angegeben. Insbesondere entwässerter kommunaler Klärschlamm wird seit vielen Jahren in MBRA eingesetzt, da über den Klärschlamm die Einstellung von Wassergehalt und C/N-Verhältnis für den Input der biologischen Behandlung vorgenommen werden kann. Aber auch die anderen Klärwerksabfälle können mitverarbeitet werden.

Der Anschluß ländlicher Gebiete an die kommunale Abwasserreinigung und der Ausbau der ARA aufgrund der Wasserrechtsgesetznovelle 1990 (z.B. Phosphatelimination) führt zu einem weiteren Anstieg der Klärschlammengen. Während 1991 ca. 680.000 Mg Klärschlamm (25 % TS) angefallen sind, sollen es nach Schätzungen des UBA im Jahr 2000 rund 1 Mio. Mg Klärschlamm (25 % TS) sein [1]. Aufgrund von eigenen Erhebungen ist davon auszugehen, daß die tatsächliche Klärschlammmenge um etwa 10 % höher ausfallen wird. Die Klärschlammqualitäten sind in den letzten Jahren insbesondere durch verstärkte Kontrollen und Auflagen bei den gewerblichen und industriellen Indirekteinleitern ständig besser geworden, so daß in vielen Fällen eine Verwertung des Klärschlammes grundsätzlich möglich ist. Aufgrund von Imageproblemen, EU-Regelungen usw. ist damit zu rechnen, daß selbst bei optimistischer Schätzung maximal 50 % der kommunalen Klärschlämme verwertet werden können und der Rest spätestens ab 1.1.2004 einer mechanisch-biologischen

und/oder thermischen Behandlung zugeführt werden muß [3,4,5,6].

Neben den "klassischen" Inputstoffen Restmüll und Klärschlamm gibt es noch eine ganze Reihe von Restabfällen, die sich grundsätzlich für eine mechanisch-biologische Behandlung eignen. Verunreinigte biogene Restabfälle entstehen in der Genußmittel-, Futtermittel- und Lebensmittelindustrie sowie bei der Bioabfallbehandlung. Auch Friedhofsabfälle können teilweise aufgrund hoher Störstoffanteile nicht mehr verwertet werden. In Sortieranlagen für Gewerbe-, Sperr- und Mischmüll fallen etwa 10 % des Anlageninputs als hausmüllähnliche Reststoffe an, die entsorgt werden müssen.

Im BAWP 1995 wird das jährliche Aufkommen an Straßenkehrschutt auf etwa 430.000 Mg geschätzt. Diese Abfallart besteht neben dem (mineralischen) Straßenräumgut aus Restabfällen die erhöhte organische Anteile (beispielsweise aus der Entleerung von Abfallbehältern öffentlicher Plätze und Straßen) aufweisen und künftig nicht mehr ohne Vorbehandlung deponierbar sind.

Auch Sickerwässer aus Deponien oder organisch belastete Abwässer können zur Einstellung des Wassergehaltes für die biologische Behandlung verwendet werden. Bei der Neuplanung einer MBRA mit angeschlossener Deponie kann durch entsprechende Wahl von Anlageninput, Verfahrenskonzeption und Deponiegestaltung unter Umständen auf die Installation einer kostenintensiven Sickerwasserbehandlungsanlage verzichtet werden. Mineralölkontaminierte Böden, die beispielsweise bei Verkehrsunfällen oder Manipulationsfehlern von Kraftstoffen und Heizöl anfallen, können ebenfalls in der biologischen Stufe mitbehandelt werden.

Werden die mechanischen Verfahrenslinien einer MBRA mit Backenbrechern und zusätzlichen Sieben ausgestattet, können auch gemischte Baustellenabfälle mitbehandelt werden, von denen nach Angaben im BAWP 1995 jährlich etwa 2 Mio. Mg anfallen. Die Mitbehandlung von Baustellenabfällen und anderen gemischten Gewerbeabfällen, die in der Regel nur geringe biologisch abbaubare Anteile enthalten, dient dabei primär der besseren Auslastung von mechanischen Verfahrensstufen.

Insgesamt ergibt sich somit ein breites Spektrum von geeigneten Restabfallarten für die MBR. Die größte österreichische MBRA mit einer Behandlungskapazität von 160.000 Mg/a steht in Salzburg Siggerwiesen und die für die Verarbeitung genehmigten Restabfälle können Anhang A entnommen werden. In Tabelle 2.1 werden die Anfallmengen der wichtigsten, für die MBR geeigneten Restabfälle für das Jahr 2000 abgeschätzt. Die Mengenangaben sind mit größeren Unsicherheiten behaftet, da sie im wesentlichen auf Basis der Angaben im BAWP 1995 getroffen werden, in dem teilweise Daten des Jahres 1991 verwendet worden sind. Diese Informationslücken können erst durch den BAWP 1998 geschlossen werden, der voraussichtlich im Herbst vorliegen wird. Das jährliche Aufkommen der hier beispielhaft angeführten Restabfälle beläuft sich schätzungsweise auf 1,7 bis 2,4 Mio. Mg/a.

Tabelle 2.1: Beispiele für Restabfälle, die sich für die mechanisch-biologische Behandlung eignen und prognostizierte Anfallmengen für das Jahr 2000

Restabfallart	SNr.	Mg im Jahr 2000
Restmüll (Systemmüll)	91101	900.000 - 1.100.000
Nicht verwertbare biogene Abfälle	11..., 916	100.000 - 150.000
Nicht verwertbare Klärschlämme	943.. -949..	500.000 - 700.000 (25 % TS)
Rechengut	94701	40.000 - 60.000 (25 % TS)
Straßenkehrsicht (TOC > 5 % TS)	91501	50.000 - 150.000
Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung	91103	150.000 - 250.000
Gesamtmenge	-	1.740.000 - 2.410.000

2.3 Verfahrensvarianten

2.3.1 Übersicht

Die MBR läßt sich allgemein als verfahrenstechnische Kombination mechanischer und biologischer Prozesse beschreiben. Die wesentlichen Behandlungsschritte sind in Tabelle 2.2 zusammengestellt. Diese Aufstellung (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) verdeutlicht, daß es eine Vielzahl von möglichen Verfahrensvarianten der MBR gibt.

Tabelle 2.2: Ziele und Optionen der mechanischen Aufbereitung

Behandlungsziel	Behandlungsoptionen (Beispiele)
Zerkleinerung	Hammer-, Schneidmühle, Schredder,
Abtrennung von Alt- und Problemstoffen	Vorsortierung
Homogenisierung	Mischtrommel, Chargenmischer
FE-Metallabtrennung	Magnetscheider
NE-Metallabscheidung	Wirbelstromtrennung
Abtrennung von heizwertreichen und biol. nicht abbaubaren sowie inerten Anteilen	Trommelsiebe, Windsichter, ballistische Separatoren
Wassergehalteinstellung	Klärschlammzugabe, Abwasserzugabe
Einstellung des C/N-Verhältnis	Klärschlammzugabe

Tabelle 2.3: Ziele und Dauer der biologischen Behandlung

Behandlungsziel	Behandlungsdauer
Erzeugung eines deponiefähigen Materials durch weitgehenden biologischen Abbau	mindestens 12 Wochen aerobe oder anaerob/aerobe biologische Behandlung

der org. Substanz	bei optimierten Milieubedingungen (WG, C/N-Verhältnis, O ₂ -Versorgung usw.)
Erzeugung von Sekundärbrennstoffen, die thermisch verwertbar sind, durch biologische Trocknung	7 bis 14-tägige aerobe biologische Behandlung

In Abbildung 2.1 sind 3 grundlegende Varianten der MBR schematisch dargestellt, die im folgenden kurz erläutert werden. Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal werden hier die Betriebsweise der biologischen Stufe(n) und die Verwertungs- bzw. Entsorgungswege der festen Reststoffe herangezogen.

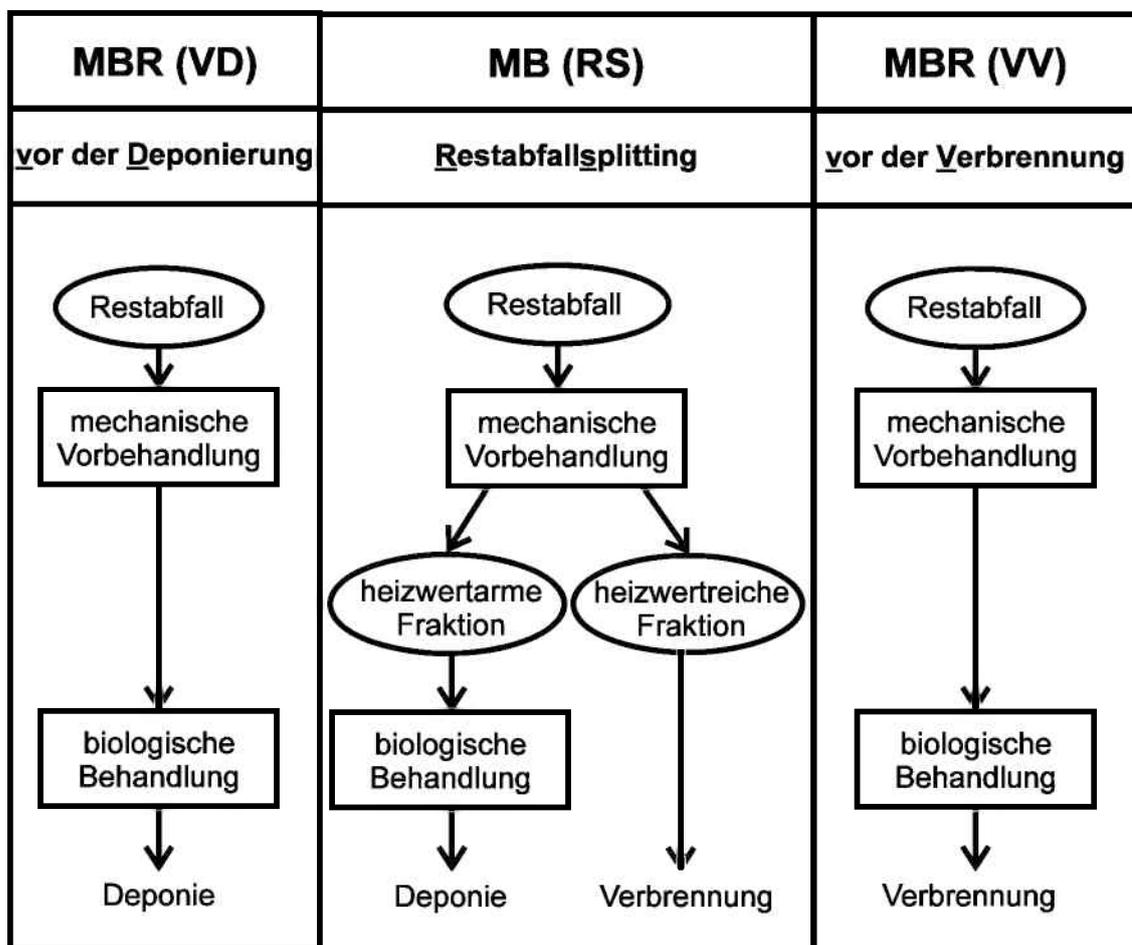


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung grundlegender Varianten der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung nach [7]

2.3.2 Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD)

Bei der einfachsten Variante der MBRVD, die in Abbildung 2.1 dargestellt ist, werden die Restabfälle mittels mechanischer Aufbereitungsschritte wie Zerkleinerung, Homogenisierung sowie Einstellung von Wassergehalt und C/N-Verhältnis durch Zugabe kommunaler Klärschlämme auf die biologische Behandlung vorbereitet. Bei der biologischen Behandlung, die anaerob und/oder aerob erfolgen kann, soll der mikrobiell verfügbare organische Anteil der Restabfälle (weitgehend) abgebaut werden.

Als österreichisches Beispiel läßt sich hier die bereits angesprochene MBRA in Salzburg Siggerwiesen nennen. Das Verfahrensschema und die im Rahmen eigener Untersuchungen ermittelte Massenbilanz für das Jahr 1995 sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Insgesamt wurden in der MBRA rund 106.000 Mg Restabfälle in 3 Linien mechanisch-biologisch behandelt und anschließend rund 80.700 Mg auf einer Reaktordeponie mit integrierter aktiver Entgasung und Deponiegasverwertung abgelagert. Die Aufteilung des Gesamtinputs der MBRA auf die einzelnen Restabfälle kann Tabelle 2.4 entnommen werden.

Tabelle 2.4: Gesamtinput der MBRA Siggerwiesen im Jahr 1995

Restabfälle	[Mg]
Restmüll/hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	65.034
Rechengut der ARA Salzburg	1.835
sonstige biol. abbaubare feste Restabfälle	2.033
Feingut der Sortieranlage	4.286
Bunkerinput gesamt:	73.188
Klärschlamm (ca. 25 % TS)	21.651
Biol. abbaubare flüssige Restabfälle	10.184
Kontaminiertes Erdreich	1.192
Direktaufgabe Rottetrommel gesamt:	33.027
Gesamtinput	106.215

Der Restabfall wird zunächst auf Korngrößen < 100 mm mittels Hammermühlen zerkleinert und Fe-Metalle durch Magnetscheider abgetrennt. In der Rottetrommel wird bei einer mittleren Verweilzeit von ca. 36 Stunden insbesondere Klärschlamm zur Einstellung des optimalen Wassergehaltes (ca. 55 %) und C/N-Verhältnisses (25:1 bis 30:1) zudosiert.

Außerdem wird das Material in der Rottetrommel homogenisiert und biologisch aktiviert. Nach einer weiteren Magnetscheidung wird das Restabfall/Klärschlammgemisch in einer

geschlossenen Halle einer etwa 3-4-wöchigen saugbelüfteten, statischen Tafelmietenrotte unterzogen. Anschließend wird das gesamte Material auf der betriebseigenen Deponie eingebaut. Im Gegensatz zur in Abbildung 2.1 dargestellten grundlegenden Variante der MBRVD wird in Salzburg eine Abtrennung der Fe-Metalle vorgenommen.

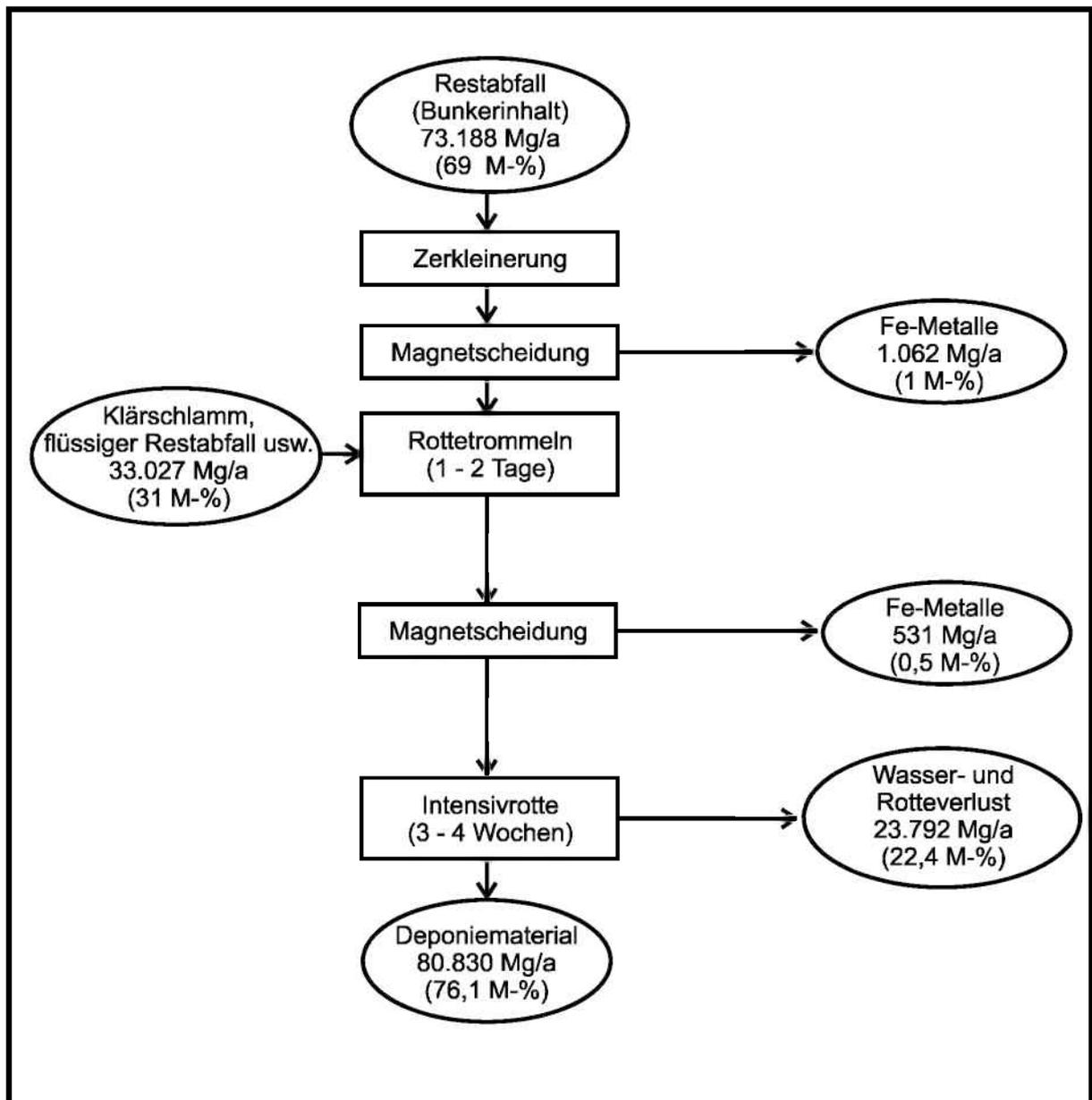


Abbildung 2.2: Vereinfachtes Verfahrensschema der MBRA in Salzburg-Siggerwiesen inklusive Massenbilanz für das Jahr 1995 nach [8]

Mit der Deponieverordnung (DVO) werden die Anforderungen an die zu deponierenden Restabfälle verschärft und damit der Stand der Technik definiert. Da der Grenzwert für den oberen Heizwert durch einfache Verfahrenskonzeptionen der MBRVD nicht eingehalten werden kann, entsprechen diese nicht mehr dem Stand der Technik. Betriebsanlagen wie die MBRA in Salzburg Siggerwiesen stellen vielmehr den Ausgangspunkt für Optimierungen von Verfahrenstechnik und Anlagenbetrieb dar, um künftig die Anforderungen der DVO zu erfüllen.

Nach eigenen Untersuchungen des Rottegutes aus der MBRA Salzburg Siggerwiesen liegt der H_o derzeit zwischen 12.000 und 14.000 kJ/kg TS. Grundvoraussetzung für die Unterschreitung des H_o -Grenzwertes ist die effektive Abtrennung von biologisch nicht abbaubaren heizwertreichen Materialien (insbesondere Kunststoffe) und eine wesentlich längere biologische Behandlung unter optimalen Milieubedingungen.

2.3.3 Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung (MBRVV)

Bei der einfachsten Variante der MBRVV, die Abbildung 2.1 dargestellt ist, werden die Restabfälle grob vorzerkleinert (z.B. mittels Sackaufreißer oder Langsamläufer) und homogenisiert. Anschließend wird das Material ohne Einstellung des Wassergehaltes einer aeroben biologischen Trocknung von etwa 7 bis 10 Tagen unterzogen. Dabei werden mikrobiell leicht verfügbare organische Substanzen teilweise abgebaut und die dabei entstehende Wärme zur Trocknung des Materials genutzt. Das Rottegut, das im Vergleich zum Input einen höheren unteren Heizwert (H_u) bezogen auf die Feuchtsubstanz aufweist, wird bei der Grundvariante zur MBRVV vollständig einer thermischen Behandlungsanlage zugeführt.

Eingesetzt werden hier bisher ausschließlich kommunale Restabfälle. Inwieweit sich auch (hausmüllähnliche) Industrie- und Gewerbeabfälle für die MBRVV eignen, kann aufgrund deren sehr unterschiedlichen stofflichen Zusammensetzung nicht allgemein gesagt werden. Entwässerte, kommunale Klärschlämme mit Wassergehalten von 60 bis 70 % eignen sich für diese Behandlung nur in geringem Umfang.

In Deutschland hat sich insbesondere die Arbeitsgruppe um Prof. Wiemer intensiv mit der "Trockenstabilisierung" auseinandergesetzt und im Vergleich zur beschriebenen Variante differenziertere Behandlungskonzepte entwickelt. Vor dem Hintergrund der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (TASi), in der es im Gegensatz zur österreichischen Deponieverordnung keine explizite Ausnahmeregelung für die Deponierung von mechanisch-biologisch behandelten Restabfällen gibt, handelt es sich hierbei um eine interessante Ergänzung zur ausschließlich thermischen Abfallbehandlung.

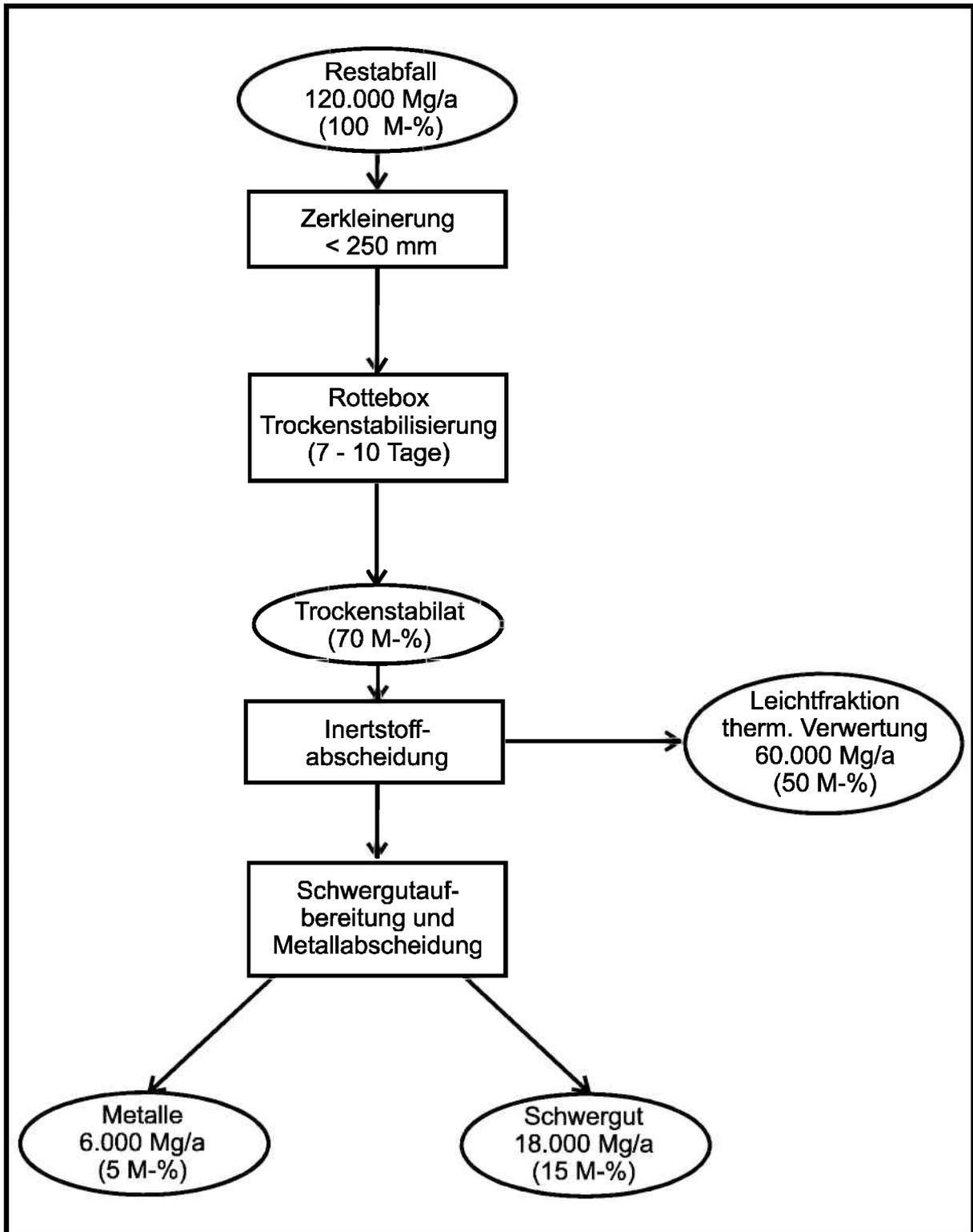


Abbildung 2.3: Schematischer Aufbau der MBRA Aßlar zur Trockenstabilisierung von kommunalen Restabfällen mit prognostizierter Massenbilanz nach [10]

Die erste großtechnische Anlage nach dem Trockenstabilatverfahren mit einer Gesamtkapazität von 120.000 Mg/a steht in Aßlar (Hessen) und diese hat im Sommer 1997 den Probetrieb aufgenommen. Die Konzeption der Firma Herhof für die MBRA Aßlar mit den prognostizierten Massenströmen kann Abbildung 2.3 entnommen werden [9,10].

Der mit einem Polyongreifer von groben Stör- und Schadstoffen befreite Restabfall wird in der MBRA Aßlar auf eine Stückgröße < 250 mm zerkleinert und in 22 Rotteboxen einer 7 bis 10-tägigen Trockenstabilisierung unterzogen. Das Trockenstabilat hat anschließend einen Wassergehalt < 15 % und der Masseverlust beträgt je nach Ausgangsfeuchte des Restabfalls zwischen 30 und 35 %. Die Steigerung des H_u beträgt 35 bis 40 %, so daß das Trockenstabilat ohne weitere Aufbereitung bereits einen unteren Heizwert von über 11.000 kJ/kg aufweist und damit prinzipiell die energetische Verwertung gemäß Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes in Deutschland möglich ist. Zur weiteren Anhebung des H_u werden in anschließenden Aufbreitungsprozessen Fe- und NE-Metalle sowie Inertstoffe (Steine, Glas usw.) ausgeschleust und für die weitere umweltverträgliche Verwertung bzw. Entsorgung konditioniert [10].

In Österreich spielt die MBRVV aufgrund der, im Vergleich zu Deutschland abweichenden Rechtslage, bisher keine nennenswerte Rolle gespielt. Um zu klären, ob und wenn ja welchen sinnvollen Beitrag die Trockenstabilisierung in integrierten Abfallwirtschaftskonzepten auf Basis der österreichischen Umweltgesetzgebung leisten kann, ist das Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) der Montanuniversität Leoben von der Steiermärkischen Landesregierung mit der Durchführung eines Pilotprojektes beauftragt worden. Die Untersuchungen werden gemeinsam mit der Firma Abfallservice Austria (ASA) im Abfallwirtschaftszentrum Halbenrain durchgeführt. Die Arbeiten laufen seit Februar 1998 und mit ersten Ergebnissen ist Ende 1998 zu rechnen [11].

2.3.4 Mechanisch-biologisches Restabfallsplitting (MBRS)

Zur Erläuterung des Restabfallsplittings kann auf die Definition gemäß § 2 der Deponieverordnung [12] zurückgegriffen werden, auch wenn dort von mechanisch-biologischer Vorbehandlung gesprochen wird:

“Eine mechanisch-biologische Vorbehandlung ist eine verfahrenstechnische Kombination mechanischer und biologischer Prozesse zur Vorbehandlung von Abfällen. Ziel der mechanischen Prozesse ist die Separierung von für eine biologische Behandlung wenig geeigneten Stoffen, von Störstoffen und Schadstoffen sowie eine Optimierung des biologischen Abbaues der verbleibenden Abfälle durch Erhöhung der Verfügbarkeit und Homogenität. Ziel der biologischen Prozesse ist der weitestmögliche Abbau verbliebener organischer Substanzen (Ab- und Umbau biologisch abbaubarer Bestandteile) durch die Anwendung anaerob-aerober oder aerober Verfahren. Mechanisch-biologisch vorbehandelte

Abfälle zeichnen sich durch eine deutliche Reduzierung des Volumens, des Wassergehaltes und des Gasbildungspotentiales sowie durch eine deutliche Verbesserung des Auslaugverhaltens und des Setzungsverhaltens aus.“

Nach dieser Definition ist die Biologie im Rahmen des Restabfallsplittings wie bei der MBRVD zu betreiben. Der mechanischen Behandlung kommt beim Restabfallsplitting aber eine weitaus größere Bedeutung zu. Im Rahmen der MBRVD geht es ausschließlich darum, die Randbedingungen für die anschließende biologische Behandlung zu optimieren. Beim Restabfallsplitting ist darüber hinaus insbesondere die Abtrennung heizwertreicher, biologisch nicht abbaubarer Materialien durch mechanische Behandlungsschritte sicherzustellen.

Das Schema einer einfachen Variante des MBRS ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Hier werden die Restabfälle, i.d.R. zerkleinert und mittels Siebung vor der biologischen Behandlung in eine heizwertarme Schwerfraktion (Siebdurchgang) sowie eine heizwertreiche Leichtfraktion (Siebüberlauf) getrennt und diese beiden Fraktionen anschließend einer spezifischen Behandlung zugeführt. Ziel ist es, die Schwerfraktion nach einer längeren gezielten biologischen Behandlung gemäß DVO ($H_o < 6.000 \text{ kJ/kg TS}$) auf Massenabfalldeponien abzulagern und die heizwertreiche Leichtfraktion einer thermischen Verwertung zuzuführen. Ohne eine weitreichende Abtrennung der heizwertreichen biologisch nicht abbaubaren Materialien ist der H_o -Grenzwert nicht einzuhalten.

Aus diesem Grund werden derzeit in Österreich die unterschiedlichsten Varianten des Restabfallsplittings diskutiert und erprobt, wobei die Abtrennung der heizwertreichen biologisch nicht abbaubaren Anteile vor oder/und nach biologischen Behandlungsstufen vorgesehen sind. Ziel ist es, im Jahr 2004 einen Betrieb der bestehenden und bis dahin neu errichteten MBRA gemäß DVO zu gewährleisten.

Sollen die heizwertreichen Anteile vor der biologischen Behandlung i.d.R. mittels Trommelsieben abgetrennt werden, so müssen Siebschritte $\leq 50 \text{ mm}$ verwendet werden, da für Korngrößen $> 50 \text{ mm}$ der H_o -Grenzwert auch nach einer mehrmonatigen biologischen Behandlung bei optimalen Milieubedingungen nicht sicher eingehalten werden kann. Als Vorteil dieser Splittingvariante, ist der geringere Platzbedarf für die biologische(n) Stufe(n) zu nennen. Nachteilig ist die Ausschleusung von biologisch abbaubaren Anteilen (z.B. Windeln, Papier/Pappe usw.) mit dem Siebüberlauf. Dies führt zu geringeren unteren Heizwerten und Qualitätseinbußen für die thermisch zu behandelnden Siebreste.

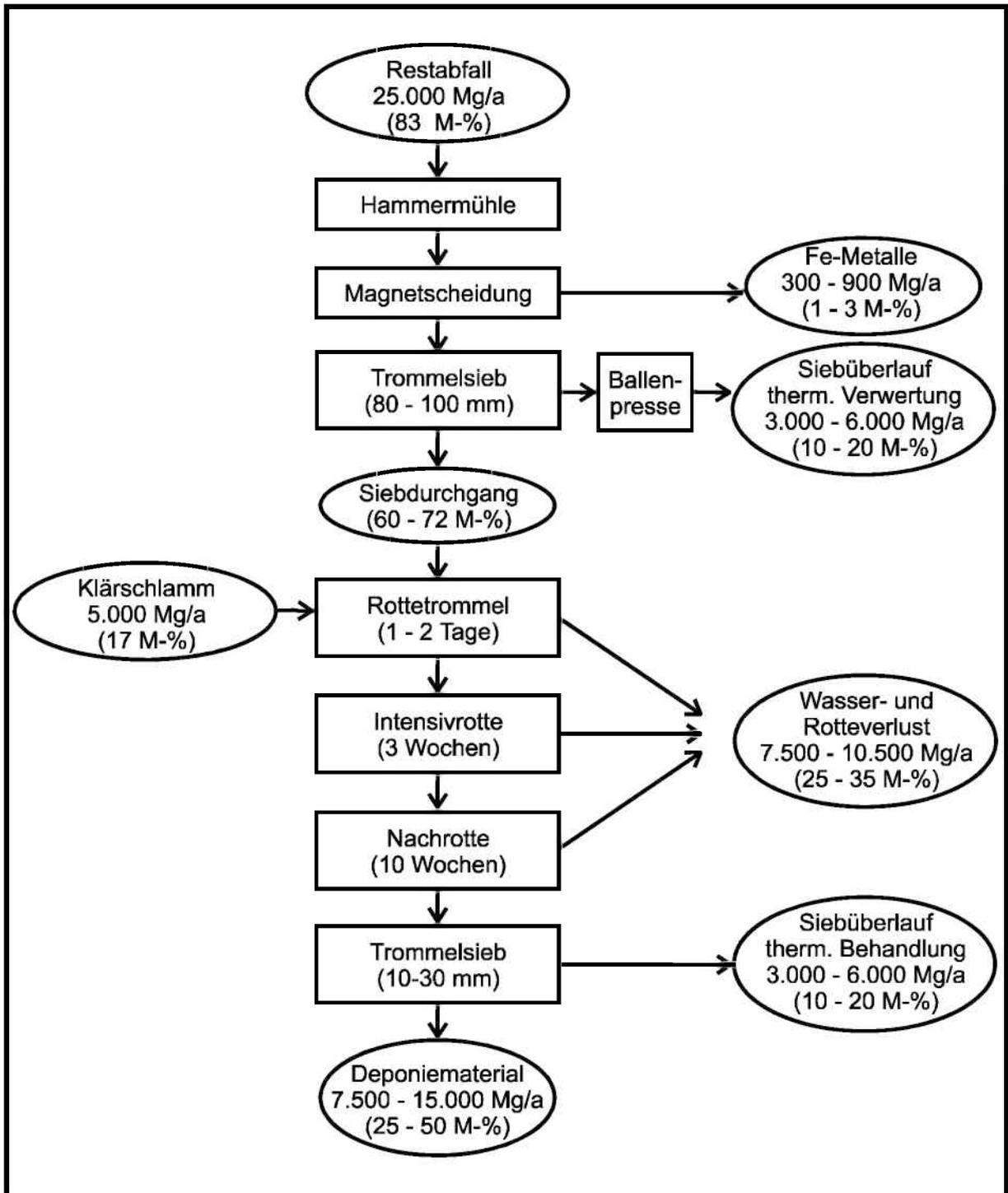


Abbildung 2.4: Verfahrenskonzept der MBRA in Zell am See mit prognostizierter Massenbilanz nach [13]

Das Splitting **nach** der biologischen Behandlung hat den Nachteil, daß der gesamte Anlageninput (exklusive Fe-Metalle) biologisch behandelt werden muß und hierfür ein erhöhter Platzbedarf vorzusehen ist. Auf der anderen Seite sind hier erhöhte biologische Abbauraten zu erwarten, die Menge der thermisch zu behandelnden Siebreste fällt geringer aus und deren Qualität ist in der Regel besser (höherer H_u , geringere Mengen organischer Anhaftungen).

Das Splitting **vor und nach** der biologischen Behandlung stellt eine Kombination aus den beschriebenen Varianten dar. Vor der Biologie wird nach der Vorzerkleinerung des Restabfalls ein grober Siebschnitt zwischen 80 und 100 mm gewählt, um heizwertreiches Material für die thermische Verwertung abzutrennen. Nach der Biologie erfolgt eine weitere Aufbereitungsstufe zur Abtrennung nicht deponierbarer Anteile mittels Siebung, Sichtung oder ballistischer Separation. Beispiele für die Verfahrensweise sind die MBRA Allerheiligen und Zell am See. Die Anlage in Zell am See wurde in den letzten Jahren modernisiert und derzeit laufen Untersuchungen unter Beteiligung des IED zur Optimierung der Biologie und Abtrennung der heizwertreichen Fraktionen. Das vereinfachte (künftige) Verfahrensschema der MBRA mit prognostizierter Massenbilanz kann Abbildung 2.4 entnommen werden [13].

Die Abtrennung heizwertreicher Anteile zwischen 2 Rottestufen ist problematisch, da für die mechanische Aufbereitung i.d.R. ein Wassergehalt unter 35 % erforderlich ist, während maximale biologische Abbauraten bei wesentlich höheren Wassergehalten (45 bis 55 %) erzielt werden. So ist z.B. vor der Absiebung eine (biologische) Trocknung des Rottegutes erforderlich und die Rottezeit unter optimalen Milieubedingungen wird dadurch verkürzt. Nach der Absiebung muß das Rottegut erneut angefeuchtet werden, was nur mittels (aufwendiger) Bewässerungs- und Mischertechnik in ausreichendem Maße möglich ist. Aus diesen Gründen ist diese Vorgehensweise nicht zu empfehlen.

2.3.5 Sonderfälle

Nicht alle Konzepte zur MBR lassen sich direkt in eine der 3 beschriebenen Kategorien einordnen. Dies trifft insbesondere auf die MBRA zu, die derzeit in Österreich betrieben werden und die Kriterien der DVO noch nicht einhalten müssen. So gibt es beispielsweise Betriebsanlagen, die den Restabfall zwar mittels Siebung in eine heizwertreiche Leicht- bzw. Grobfraktion und eine heizwertarme Schwer- bzw. Feinfraktion trennen. Trotzdem werden beide Fraktionen, die Feinfraktion nach aerober biologischer Behandlung und die Grobfraktion (teilweise nach Verpressung in Ballen) deponiert. Wenn hier keine nennenswerte Ausschleusung von Alt-, Problem- oder Störstoffen erfolgt, können diese Varianten der MBRVD zugeordnet werden.

Außerdem gibt es Abfallwirtschaftsverbände, die bisher, trotz bundesrechtlicher Verpflichtung durch die Bioabfallverordnung seit 1.1.1995, keine getrennte Bioabfallsammlung und -verwertung eingeführt haben. Auch hier wird mittels mechanischer Behandlung eine Fein- und Grobfraction erzeugt. Die Grobfraction wird deponiert, während die Feinfraction kompostiert wird und derzeit nach Angaben der Anlagenbetreiber noch als Mischmüllkompost gemäß ÖNORM S 2022 abgesetzt werden kann.

Ob und wenn ja in welcher Form auch langfristig eine Verwertung von Mischmüll- bzw. Restmüllkomposten in Österreich möglich sein wird, hängt insbesondere von der Gestaltung der Kompostverordnung ab, die derzeit unter Leitung des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie (BMUJF) erarbeitet wird. Es bleibt im Sinne des Umweltschutzes zu hoffen, daß die Verwertung von Müllkomposte restriktiv gehandhabt wird und nur wenigen Anwendungsfällen wie beispielsweise der Deponierekultivierung vorbehalten bleibt. Das gleiche gilt für Erden, die aus Restmüll bzw. Restmüllfraktionen nach ca. 2-wöchiger aerober biologischer Behandlung durch Verschneiden mit unbelasteten Böden hergestellt werden.

Sowohl in Österreich als auch in Deutschland sind in den letzten Jahren Versuche zur Immobilisierung von mechanisch und/oder biologisch vorbehandelten Restabfällen durchgeführt worden. Dabei werden die behandelten Restabfällen mit mineralischen Zuschlagsstoffen (Tonmineralien usw.) und hochverdichtet in den Deponiekörper eingebaut, um Setzungen, Sickerwasser- und Deponiegasanfall zu minimieren. Als Beispiele lassen sich hier die Versuche in Zell am See (A), Kirchberg und Ludwigsburg (beide D) anführen [14]. Je nach Verfahrensgestaltung (mit oder ohne Abtrennung heizwertreicher Teilströme) lassen sich diese der MBRVD oder MBRVV zuordnen.

Das Konzept der Stadt Münster (D) sieht eine Kombination aus mechanischen Stufen, anaerober biologischer Behandlung und Naßoxidation vor. Mittels aufwendiger mechanischer Aufbereitung sollen stofflich und energetisch verwertbare Restmüllanteile (ca. 50 % des Anlageninputs) abgetrennt werden. Die anschließende anaerobe biologische Behandlung und VerTech-Naßoxidation im Tiefschichtverfahren dient der Erzeugung von Deponiematerial, das nach TASI ablagerungsfähig ist oder einer Verwertung im Straßenbau zugeführt werden kann [15].

3 Deponierung von Reststoffen aus der MBR

3.1 Abfallrechtliche Rahmenbedingungen in Österreich

3.1.1 Abfallwirtschaftsgesetz (AWG)

Für die österreichische Abfallwirtschaft wurde 1990 mit dem Gesetz über die Vermeidung, Verwertung und Behandlung von Abfällen AWG (BGBl. Nr. 325/1990) eine bundeseinheitliche Grundlage geschaffen [16]. Die allgemeinen rechtlichen Rahmenbedingungen für die Deponierung ergeben sich aus den Zielen und Grundsätzen der Abfallwirtschaft, die in § 1 AWG festgeschrieben sind:

- Umweltbeeinträchtigungen sollen generell minimiert werden
- Rohstoff- und Energiereserven sind zu schonen
- der Verbrauch an Deponievolumen ist möglichst gering zu halten
- es sollen nur solche Abfälle abgelagert werden, die kein Gefährdungspotential für die nächste Generation aufweisen
- feste Rückstände aus der Verwertung und sonstigen Behandlung von Abfällen sind möglichst reaktionsarm und konditioniert geordnet abzulagern

3.1.2 Deponieverordnung (DVO)

Die Konkretisierung der Grundsätze und Ziele des AWG wird in der Deponieverordnung (DVO) vorgenommen, die nach 5 Jahren kontroverser Diskussionen zum 1.1.1997 in Kraft getreten ist. Abfallrechtlich relevant sind diese Regelungen aber nur für Deponien, die wesentliche Änderungen der Betriebsweise gemäß AWG vornehmen oder neu in Betrieb gehen. Für Altanlagen werden die Fristen für die stufenweise Anpassung in der Novelle des Wasserrechtsgesetzes festgeschrieben (siehe auch Kapitel 3.1.3).

In der DVO werden insbesondere Anforderungen an den abzulagernden Abfall gestellt, wobei der Organikanteil ein entscheidendes Kriterium darstellt. So wird nach § 5 die obertägige Ablagerung von Abfällen verboten, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) > 5 M-% in der Trockensubstanz (TS) beträgt. Dies ist für die Restabfälle aus den privaten Haushalten, hausmüllähnliche Industrie- und Gewerbeabfälle sowie Klärschlämme nur durch eine thermische Vorbehandlung möglich.

Für die mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle wird in § 5 Nr. 7f der DVO eine Ausnahmeregelung festgeschrieben. Diese Abfälle dürfen in gesonderten Bereichen einer Massenabfalldeponie abgelagert werden, wenn der obere Heizwert (H_o) nach der Vorbehandlung unterhalb von 6.000 kJ/kg TS liegt.

Tabelle 3.1: Grenzwerte für Schadstoffgesamtgehalte für Reststoff- und Massenabfall-

deponieren gemäß Anlage 1, Tabellen 5 und 7 der Deponieverordnung

Schadstoffgesamtgehalte	Reststoffdeponie [mg/kg TS]	Massenabfalldeponie [mg/kg TS]
Anorganische Stoffe:		
Arsen (als As)	5.000	500
Barium (als Ba)	-	10.000
Blei (als Pb)	-	3.000
Cadmium (als Cd)	5.000	30
Chrom gesamt (als Cr)	-	5.000
Cobalt (als Co)	-	500
Kupfer (als Cu)	-	5.000
Nickel (als Ni)	-	2.000
Quecksilber (als Hg)	20 ¹⁾	20
Silber (als Ag)	-	50
Zink (als Zn)	-	5.000
Organische Summenparameter:		
Ges. org. Kohlenstoff, TOC (als C)	30.000 ^{2),3)}	50.000 ^{4),5)}
Summe der Kohlenwasserstoffe	5.000	20.000
Ausblasbare org. geb. Halogene, POX, (als Cl)	-	1.000
Summe der polyzyklischen aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	i.G.f.	100

i.G.f. = Im Genehmigungsbescheid festzulegen, wenn dieser Parameter für die abzulagernden Abfälle relevant ist.

- 1) Wenn Quecksilber in Form schwerlöslicher sulfidischer Verbindungen vorliegt und verfestigt wurde, ist ein Quecksilbergehalt bis maximal 3.000 mg/kg TS zulässig.
- 2) Bei einem Glühverlust ≤ 5 Masseprozent gilt der TOC-Grenzwert als eingehalten.
- 3) Nicht maßgeblich, wenn es sich um mit Kunststoffen oder Bitumen verfestigte Abfälle handelt bzw. der Kohlenstoffgehalt aus elementarem Kohlenstoff, Kohlen- oder Koksanteilen resultiert, sofern es sich nicht um beladene Aktivkohle oder Aktivkoks handelt
- 4) Bei einem Glühverlust ≤ 8 Masseprozent gilt der TOC-Grenzwert als eingehalten.
- 5) U.a nicht maßgeblich, wenn es sich um mit Asbest verunreinigte Abfälle, Baurestmassen oder Abfälle aus der mechanisch-biologischen Vorbehandlung handelt.

Tabelle 3.2: Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Eluat für Reststoff- und Massenabfalldeponien gemäß Anlage 1, Tabellen 6 und 8 der DVO in mg/kg TS mit Ausnahme von pH-Wert und Leitfähigkeit

Schadstoffgehalte im Eluat	Reststoffdeponie	Massenabfalldeponie
Lösliche Anteile und pH-Wert:		
pH-Wert	6 bis 12 ¹⁾	6 bis 13
elektrische Leitfähigkeit [mS/m]	1.000 ^{2),3)}	-
Abdampfdruckstand	30.000	100.000
Anorganische Stoffe:		
Aluminium (als Al)	100 ⁴⁾	-
Arsen (als As)	1,0	-
Barium (als Ba)	100	-
Blei (als Pb)	10,0	-
Cadmium (als Cd)	1,0	-
Chrom gesamt (als Cr)	20,0	-
Chrom sechswertig (als Cr)	1,0	20
Cobalt (als Co)	5,0	-
Eisen (als Fe)	20,0 ⁴⁾	i.G.f.
Kupfer (als Cu)	10,0	-
Nickel (als Ni)	10,0	-
Quecksilber (als Hg)	0,1	-
Silber (als Ag)	1,0	-
Zink (als Zn)	100	-
Zinn (als Sn)	20,0	-
Ammonium (als N)	100	10.000
Nitrat (als N)	i.G.f.	i.G.f.
Nitrit (als N)	15	1.000
Cyanide, leicht freisetzbar, (als CN)	1,0	20
Fluorid, (als F)	100	500
Phosphat (als P)	50	-
Sulfat (als SO ₄)	-	25.000
Organische Summenparameter:		
TOC, (als C)	500	i.G.f.
Summe der Kohlenwasserstoffe	100	-
EOX (als Cl)	i.G.f.	30
anionenaktive Tenside, (als TBS)	20	i.G.f.

i.G.f. = Im Genehmigungsbescheid festzulegen, wenn für die abzulagernden Abfälle relevant (z.B. bei mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen).

- 1) Für mit hydraulischen Bindemitteln verfestigte Abfälle ist ein pH-Wert von 13 zulässig.
- 2) Für mit hydraulischen Bindemitteln verfestigte Abfälle ist der Grenzwert nach 28 Tagen Aushärtezeit einzuhalten.
- 3) Höhere Grenzwerte für einzelne Abfälle können zugelassen werden.
- 4) Nur gültig für mit hydraulischen Bindemitteln verfestigte Abfälle.

In der DVO werden insgesamt 4 Deponietypen definiert und spezifische Anforderungen an Standort, Deponietechnik und an die abzulagernden Abfälle festgelegt:

<u>Bodenaushubdeponien:</u>	Ablagerung von Inertabfällen mit sehr geringen Schadstoffgehalten (im wesentlichen nicht verwertbarer Aushub und Abraum von natürlich gewachsenen Böden)
<u>Baurestmassendeponien:</u>	Ablagerung von Inertabfällen mit geringen Schadstoffgehalten (i.d.R. mineralischer Bauschutt)
<u>Reststoffdeponien:</u>	Ablagerung von Abfällen mit erhöhten, aber immobilisierten Schadstoffgehalten (im wesentlichen Reststoffe aus der thermischen Behandlung, z.B. von Siebresten aus der MBR)
<u>Massenabfalldeponien:</u>	Ablagerung von Abfällen mit begrenzten Schadstoffgehalten (z.B. Reststoffe aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung)

Für jeden dieser Deponietypen werden spezifische Anforderungen an die abzulagernden Abfälle in Form von Grenzwerten für den Schadstoffgesamtgehalt und Schadstoffgehalt im Eluat festgeschrieben. Die Grenzwerte für die Reststoff- und Massenabfalldeponien sind in den Tabellen 3.1 und 3.2 zusammengestellt.

Die Grenzwerte für Reststoff- und Massenabfalldeponien unterscheiden sich dabei insofern, als für die auf Reststoffdeponien abzulagernden Abfälle die Unterschreitung von Schadstoffkonzentrationen im Eluat vorrangig ist, während für Massenabfalldeponien das Schwergewicht auf den strengeren Grenzwerten für die Schadstoffgesamtgehalte liegt.

3.1.3 Wasserrechtsgesetz (WRG)

In der Wasserrechtsnovelle, die am 1. Juli 1997 in Kraft getreten ist, wird die stufenweise Anpassung der alten Deponien an den Stand der Technik gemäß DVO geregelt [17]. Nach §§ 31b und 31d WRG ist für bestehende Deponien, die weiterbetrieben werden sollen, folgende Fristenregelung vorgesehen. Zuerst hatte der Betreiber der zuständigen Behörde bis zum 1.1.1998 mitzuteilen, welchem Deponietyp seine Anlage anpaßt werden soll. Anschließend ist die Anpassung an die Anforderungen der DVO in 3 Stufen vorzunehmen:

- Ab 1.7.1998 sind die Anforderungen betreffend Deponieoberflächenabdeckung, Deponieeinrichtungen, Deponiepersonal, Abfalleinbau, Emissions- und Immissionskontrolle und Kontrolle des Deponiekörpers, Dokumentation und Deponieaufsicht zu erfüllen. Für noch nicht ausgebaute bewilligte Deponieabschnitte sind zusätzlich die Anforderungen hinsichtlich Vorflut, Standsicherheit, Deponierohrplanum, Deponiebasisabdichtung, Basisentwässerung und Qualitätssicherung gemäß Stand der Technik

einzuhalten.

- Ab 1.7.1999 sind die Anforderungen betreffend Wasserhaushalt, Deponiegasbehandlung (für Massenabfalldeponien) und besondere Bestimmungen für verfestigte Abfälle einzuhalten. Des Weiteren - sofern dies zur Überwachung der Einhaltung des Konsenses erforderlich ist - sind die Anforderungen hinsichtlich Gesamtbeurteilung von Abfällen, besondere Bestimmungen zur Gesamtbeurteilung, Eingangskontrolle, Identitätskontrolle und Rückstellproben zu erfüllen.
- Ab 1.1.2004 sind schließlich die Anforderungen betreffend Deponietypen, Zuordnung von Abfällen zu Deponietypen, Verbot der Deponierung, Gesamtbeurteilung von Abfällen, besondere Bestimmungen zur Gesamtbeurteilung, Eingangskontrolle, Identitätskontrolle und zu Rückstellproben einzuhalten.

Diese längere Übergangsfrist bis zum 1.1.2004 resultiert aus der Tatsache, daß die Planung, Genehmigung und Errichtung der zur Vorbehandlung notwendigen Anlagen zur Erfüllung der Abfallqualitäten hinsichtlich der Grenzwerte für die Schadstoffgesamtgehalte und der Schadstoffgehalte im Eluat, geraume Zeit in Anspruch nehmen wird. Nach derzeitiger Genehmigungspraxis in Österreich muß man für thermische Behandlungsanlagen mit ca. 7 bis 10 Jahre und für mechanisch-biologische Behandlungsanlagen mit etwa 3 bis 5 Jahre bis zur Inbetriebnahme rechnen.

Nach den beschriebenen Übergangsregelungen ist die Deponierung von unbehandelten Restabfällen nur noch bis Ende des Jahres 2003 möglich. Bei der abschließenden Formulierung des § 31d WRG haben sich 2 Bundesländer durchgesetzt und Ausnahmeregelungen erwirkt. Dies hat zur Folge, daß insbesondere in Vorarlberg und Wien bis zum 31. Dezember 2008 (Friststreckung um weitere 5 Jahre) erhebliche Mengen unbehandelter Restabfälle deponiert werden dürfen.

3.1.4 Altlastensanierungsgesetz (AlsaG)

Das Ziel des Altlastensanierungsgesetzes (AlsaG) ist es, die Finanzierung der Sicherung und Sanierung von Altlasten in Österreich sicherzustellen. Neben der Deponieverordnung und der Novelle zum Wasserrechtsgesetz, in der ein klarer Zeitplan für die Anpassung von Altdeponien an den Stand der Technik festgelegt wird, war als 3. Maßnahme auch eine Novellierung zum AlsaG zur Komplettierung des Gesamtpaketes für Deponien erforderlich. Die Novelle des AlsaG ist bereits am 1. Mai 1996 in Kraft getreten.

Die Neustrukturierung der Altlastenbeiträge soll insbesondere Wettbewerbsverzerrungen zwischen unterschiedlich ausgestatteten Deponien verringern und einen finanziellen Anreiz zur rascheren Anpassung der Altanlagen an den Stand der Technik gemäß Deponieverordnung schaffen.

Tabelle 3.3: Gestaffelte Altlastenbeiträge für die Ablagerung auf Deponien gemäß DVO (Neuanlagen und angepaßte Altdeponien) in ATS/Mg

Deponietyp:	1.1.1998	1.1.2001	1.1.2004
Baurestmassen	60.-	80.-	100.-
Reststoffe	150.-	150.-	200.-
Massenabfall	200.-	200.-	300.-

Die Höhe des Altlastenbeitrages richtet sich zum einem nach dem technischen Ausstattungsstand der Deponie und zum anderen nach der Qualität (Reaktivität) der abzulagernden Abfälle. Je besser der Deponiestandard und je unproblematischer die Abfallart (z.B. mineralischer Bauschutt) desto geringer der Altlastenbeitrag. Die gestaffelten Beiträge für die Ablagerung von entsprechenden Abfällen auf Deponien, die gemäß DVO genehmigt sind oder deren Anpassung an den Stand der Technik gänzlich abgeschlossen ist, können Tabelle 3.3 entnommen werden.

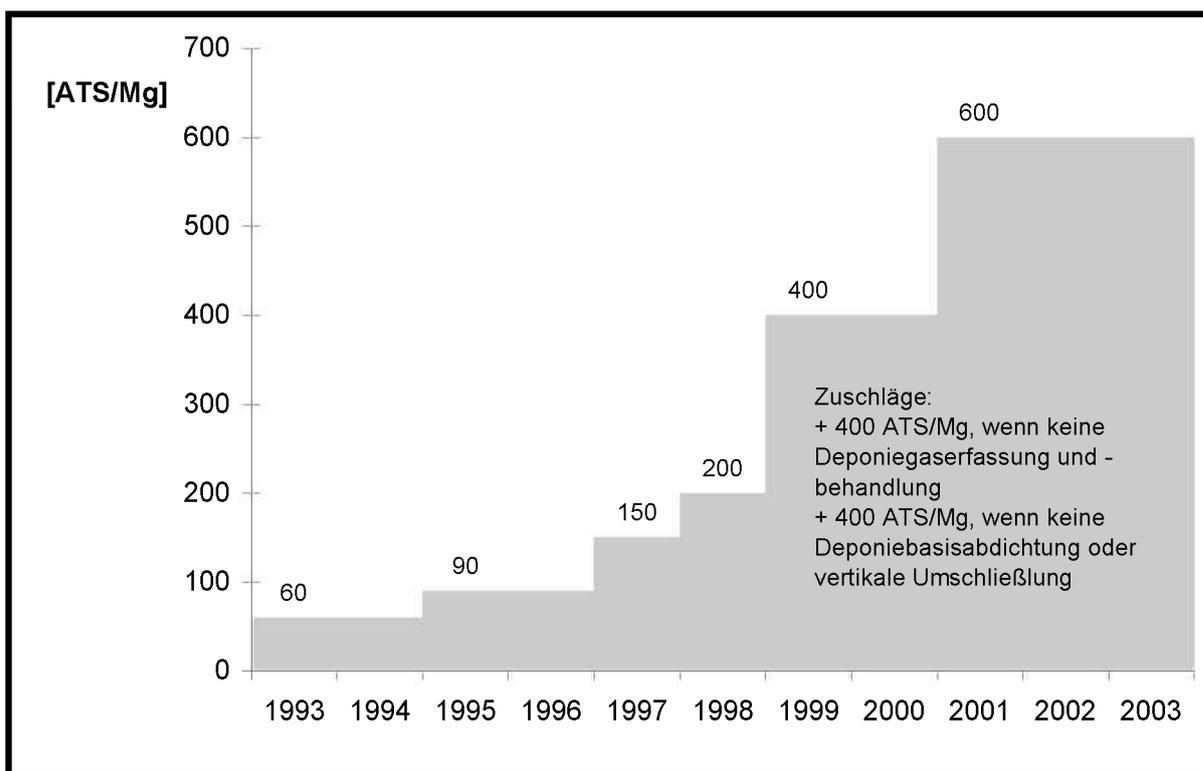


Abbildung 3.1: Entwicklung der Höhe des Altlastenbeitrages für die direkte Deponierung von Restmüll bis zum Jahr 2004

Für die direkte Ablagerung von Restmüll auf Deponien, die technisch nicht entsprechend ausgestattet sind, müssen seit 1. Jänner 1997 Zuschläge abgeführt werden. Die Entwicklung der Höhe des Altlastenbeitrages für die direkte Deponierung von Restmüll bis zum Jahr 2004 ist in Abbildung 3.1 dargestellt. So beträgt der Altlastenbeitrag im Jahr 2001 für die Ablagerung von unbehandeltem Restmüll auf einer Hausmülldeponie ohne

Deponiegaserfassung und ohne leistungsfähige technische Dichtungssysteme bis zu 1.400 ATS, während für die Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen ($H_o < 6.000 \text{ kJ/kg TS}$) auf einer genehmigten Massenabfalldeponie 200 ATS (entspricht 14,3 %) zu zahlen sind. Hierdurch ist ein wesentlicher ökonomischer und in weiterer Folge auch ökologischer Lenkungseffekt des AlsaG zu erwarten.

3.2 Abfallrechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland

Die Technische Anleitung Siedlungsabfall (TASi) stellt in Deutschland die rechtliche Grundlage für die Deponierung von Abfällen dar. Im Gegensatz zur österreichischen Deponieverordnung ist in der TASi keine **explizite** Ausnahmeregelung für die Deponierung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen enthalten. Gemäß TASi sind ab 1. Juni 2005 grundsätzlich nur noch Abfälle deponiefähig, wenn der TOC-Anteil $< 3 \%$ (bzw. Glühverlust $< 5 \%$) ist [19].

Derzeit werden in Deutschland (auch vor dem Hintergrund der im September anstehenden Bundestagswahlen) Änderungen der TASi diskutiert. Ob diese Änderungen kommen oder nicht ist aber fraglich, so daß man sich bei der Umsetzung von Abfallwirtschaftskonzepten, die eine mechanisch-biologische Behandlung und Deponierung des Rottegutes beinhalten, mit den Regelungen der TASi auseinandersetzen muß.

In der TASi gibt es im wesentlichen 3 Ausnahmeregelungen, die eine Ablagerung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen über das Jahr 2005 hinaus ermöglichen. So existieren zum einen bereits befristete Ausnahmegenehmigungen nach Ziffer 12 (**Altdeponien**) z.B. für die Landkreise Ammerland, Grafschaft Bentheim, Cloppenburg und die Stadt Hannover bis zum Jahr 2020. Die Genehmigungen der Landkreise Lüneburg, Diepholz (Bassum) und Friesland/Wittmund hingegen, die ebenfalls bis zum Jahr 2020 gelten, basieren auf Ziffer 1.2 der TASi (**Versuchsanlagen**). Ausnahmegenehmigungen sind aus Sicht der deutschen Bundesregierung auf Basis von Ziffer 2.4 (**Gleichwertigkeit**) möglich, wenn im Einzelfall nachgewiesen wird, daß das Wohl der Allgemeinheit, gemessen an den Anforderungen der TASi, nicht beeinträchtigt wird [20, 21].

Nach der mechanisch-biologischen Vorbehandlung können bis auf die TOC-Grenzwerte für die Originalsubstanz (3 %) und im Eluat (100 mg/l) alle Anforderungen an das Deponiematerial erfüllt werden. Nach Auffassung der deutschen Bundesregierung muß für die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung "die **Gleichwertigkeit** des erzielten Behandlungsergebnisses hinsichtlich der behandelten, abzulagernden Abfälle nachgewiesen werden" [20]. Ausnahmegenehmigungen für die Deponierung von MBA-Material über den Nachweis der Gleichwertigkeit streben derzeit z.B. die Landkreise Altenkirchen/Neuwied, Düren, Göttingen und Peine sowie die Berliner Stadtreinigungsbetriebe, die Märkische Entsorgungsanlagenbetriebsgesellschaft und der Entsorgungs-

verband Niederlausitz an, wobei die beiden letztgenannten Verfahren kurz vor dem (erfolgreichen) Abschluß stehen [21].

Bei der Erstellung von umfassenden Gleichwertigkeitsnachweisen werden basierend auf den Schutzziele der TAsi (praktisch kein Deponiegas, geringe org. Sickerwasser-belastung und geringfügige Setzungen) Anforderungen an die MBA und die Deponie definiert und zusätzlich die Umweltverträglichkeit des Gesamtsystems bestehend aus MBA, Deponierung und Verwertung von Siebresten und Fe-Metallen bewertet.

Die konkreten Anforderungen im Rahmen des Gleichwertigkeitsnachweises werden auf Basis des aktuellen Wissensstandes festgelegt. Auf diesem Gebiet wurden in den letzten 3 Jahren erhebliche Fortschritte, insbesondere aufgrund des Verbundvorhabens "Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen" erzielt. Die insgesamt 18 Einzelprojekte werden vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) mit rund 120 Mio. öS gefördert. Abschluß- bzw. Zwischenergebnisse der einzelnen Projekte wurden vom 17. bis 19. März 1998 in Potsdam präsentiert [22]. Die für die Erstellung von Gleichwertigkeitsnachweisen relevanten Punkte sind:

- Für die **Beurteilung der biologischen Stabilität** sind weder der Glühverlust noch der TOC geeignet. Zur Beurteilung ist die aussagekräftige und gleichzeitig praktikable Messung der Atmungsaktivität innerhalb von 4 Tagen vorgesehen. Als Richtwert wird sich voraussichtlich der AT_4 von 5 mg/g TS durchsetzen, der nach 12 bis 16 Wochen anaerober und/oder aerober biologischer Behandlung unterschritten werden kann. Die Reduktionsrate bezogen auf den Anlageninput beträgt über 90 %. Als Maßnahme zur noch weitergehenden Minimierung der Deponiegasemissionen werden alternative "Oberflächenabdichtungen", die als Biofilter zur Methanoxidation ausgeführt sind, diskutiert.
- Durch die **Einbindung von anaeroben Behandlungsstufen** läßt sich die Gesamtbehandlungsdauer im Vergleich zu reinen aeroben Verfahren erheblich verkürzen. Während die MBA Lüneburg eine 16-wöchige Rotte benötigt, um den AT_4 -Richtwert sicher zu unterschreiten, sind hierzu bei der MBA Bassum mit integrierter 3-wöchiger anaerober Behandlung für geeignete Teilströme und aerober Nachbehandlung voraussichtlich weniger als 12 Wochen erforderlich.

- Als TOC-Richtwert für das Eluat werden 250 mg/l und zur weiteren **Minimierung des Sickerwasseranfalls** unter anderem ein hochverdichteter Dünnschichteinbau ($k_f \leq 10^{-8}$ m/s, Einbaudichte ≥ 95 % ρ_{Pr}) diskutiert. Die zu erwartenden Setzungen liegen bei < 5 %.
- Die **Abtrennung von energetisch verwertbaren Bestandteilen** ist künftig erforderlich und kann nach Auffassung des UBA Berlins mittels Grenzwert für die Einbaudichte, das Porenvolumen beim Einbau oder mittels Heizwertregelung festgeschrieben werden. Da es darum geht, energetisch sinnvoll verwertbare Materialien abzutrennen, wäre beispielsweise die Festschreibung eines unteren Heizwertes von 11.000 kJ/kg Originalsubstanz bezogen auf einen normiertem Wassergehalt (z.B. 20 %), im Hinblick auf die einschlägigen Regelungen des deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, eine denkbare Variante.
- Die bisherigen **Beurteilungen der Abluft** aus der MBA beruhen im wesentlichen auf theoretischen Abschätzungen und Messungen an Versuchsanlagen und enden oft mit der Schlußfolgerung, daß nur durch Kombinationen aus Biowäscher und Biofilter eine ausreichende Abluftreinigung gemäß TA Luft möglich sei. Inzwischen liegen umfangreiche Meßergebnisse für die großtechnische MBA in Lüneburg vor. Diese belegen, daß die Schadstofffrachten bei etwa 10 % der bisher angenommen Werte liegen. Sollte sich dies durch die geplanten Messungen an anderen großtechnischen Anlagen bestätigen, so kann die erforderliche Abluftreinigung mit optimierten konventionellen Flächen-biofiltern sichergestellt werden.

Neben dem BMBF-Verbundvorhaben sind in den letzten Jahren umfangreiche Untersuchungen zur Weiterentwicklung der MBR von den deutschen Bundesländern finanziert worden und eine Reihe von großtechnischen Pilotanlagen (Jahreskapazität: 30.000 bis 120.000 Mg) mit öffentlichen Fördermitteln gebaut worden. Insgesamt wurden für die Erforschung und Weiterentwicklung der MBR in den letzten 3 Jahren über 500 Mio. öS allein an öffentlichen Förderungen vergeben.

Auf Basis der derzeitigen Erkenntnisse kann den Verfahren zur MBR, die die Anforderungen des oben genannten Gleichwertigkeitsnachweises gemäß TAsi Ziffer 2.4 erfüllen, nach Auffassung deutscher Experten wie beispielsweise Univ.Prof. Bidlingmaier (Uni Weimar), Univ.Prof. Doedens (UNI Hannover), Dr. Fricke, Dr. Müller (beide Ingenieurgesellschaft Witzenhausen) und Prof. Stegmann (TU Hamburg-Harburg) der **Stand der Technik** attestiert werden [21, 23].

3.3 Parameter zur Beurteilung der Deponierbarkeit

Die in Österreich bei der Deponierung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen einzuhaltenden Grenzwerte für die Gesamtschadstoffgehalte und Schadstoffgehalte im Eluat sind bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben worden. Europaweit erstmals wird in der Deponieverordnung der obere Heizwert (H_o) als Kriterium für die Deponiefähigkeit in einer abfallrechtlichen Norm festgeschrieben. Die Leistungsfähigkeit des Parameters H_o soll hier zunächst im Vergleich zu den klassischen organischen Summenparametern Glühverlust und TOC kurz erläutert werden.

Der **Glühverlust** wird nach ÖNORM S 2023 durch Verglühen der zerkleinerten und getrockneten Probe bei 550 °C bis zur Gewichtskonstanz gravimetrisch bestimmt und damit die gesamte organische Substanz erfaßt [24].

Für die Bewertung des Ablagerungsverhaltens der (mechanisch-biologisch vorbehandelten) Restabfälle ist nur der biologisch abbaubare Anteil der organischen Substanz von Interesse, so daß der Glühverlust für die Beschreibung der tatsächlich vorhandenen biologischen Restaktivität nicht geeignet ist. Darüber können Verluste von Kondensations-, Hydrat- und Kristallwasser erhöhte Glühverlustwerte vortäuschen. Das gleiche gilt für die Zersetzung und Sublimation von anorganischen Bestandteilen (z.B. Carbonaten) und sonstige Oxidationsprozesse. Hingegen können Oxidationsreaktionen, die zu schwerflüchtigen Oxiden führen, eine Unterbewertung zur Folge haben [25, 26]. Trotz dieser Nachteile stellt der Glühverlust aufgrund seiner spezifischen Vorteile eine wichtige Bezugsgröße dar. Es handelt sich um einen seit langem bewährten Parameter, so daß sehr viele Vergleichsanalysen existieren, die analytische Bestimmung des Glühverlusts ist einfach, in kurzer Zeit durchführbar und liefert gut reproduzierbare Ergebnisse, wenn Probemengen zwischen 10 bis 20 g eingewogen werden.

Zur Bestimmung des **TOC** nach ÖNORM S 2023 wird zunächst der Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) durch katalytische Verbrennung der zerkleinerten und getrockneten Probe im Sauerstoffstrom bei 900 °C und anschließender Kohlendioxidmessung ermittelt. Der anorganische Kohlenstoff (TIC) wird durch Ansäuern mittels Phosphorsäure und anschließender Strippung mit Sauerstoff entfernt. Der TOC ergibt sich aus der Differenz von TC und TIC.

Im Vergleich zum Glühverlust hat der TOC den Vorteil, daß wirklich nur der organische Kohlenstoffanteil erfaßt wird. Aufgrund der geringen Einwaagemenge (≤ 100 mg), sind hohe Anforderungen an die Homogenität der Probe zu stellen, um reproduzierbare Meßwerte zu erhalten. Entscheidender Nachteil des TOC ist aber im Hinblick auf die Beurteilung von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen, daß wie beim Glühverlust neben der biologisch verfügbaren organischen Substanz auch der nicht abbaubare Anteil miterfaßt wird. Deshalb kann auch der TOC lediglich als Bezugswert herangezogen werden.

Für den Parameter **TOC im Eluat** ist gemäß Anlage 1, Tabelle 8 der DVO ein Grenzwert im Genehmigungsverfahren festzulegen, wenn der Parameter für die Abfallart relevant ist. Das

ist bei mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen der Fall. Da hier lediglich die wasserlöslichen organischen Bestandteile erfaßt werden, ist auch dieser Parameter zur Beschreibung der biologischen Restaktivität des Deponiematerials ungeeignet. Der TOC im Eluat stellt in erster Linie eine nützliche Zusatzinformation zur Beurteilung der zu erwartenden Sickerwasseremissionen dar. Daher sollten sich die Grenzwerte, die im Rahmen der Genehmigungsverfahren festzulegen sind, am Gefährdungspotential des Sickerwassers orientieren.

Die TASI in Deutschland gibt einen TOC Grenzwert von 100 mg/l für die Deponieklasse II vor, der nur nach sehr langer biologischer Behandlung von mehr als 6 Monaten sicher unterschritten werden kann. Für den in Kapitel 3.2 beschriebenen Gleichwertigkeitsnachweis gemäß TASI Ziffer 2.4 wird ein $\text{TOC}_{\text{Eluat}}$ von 250 mg/l in Verbindung mit zusätzlichen Maßnahmen zur Reduktion der Sickerwasserfrachten (z.B. hochverdichteter Einbau) vorgeschlagen.

Der **obere Heizwert (H_o)** ist ein Maß für die bei vollständiger Verbrennung freiwerdende Wärmemenge. Die Bestimmung des oberen Heizwertes, der auch Brennwert oder Verbrennungswert genannt wird, erfolgt derzeit in Anlehnung an DIN 51 900 bzw. ÖNORM C 1138 [27, 28]. Dabei wird die getrocknete und zerkleinerte Probe unter definierten Bedingungen in der sog. kalorimetrischen Bombe unter Sauerstoffüberschuß verbrannt und der H_o über die Temperaturerhöhung ermittelt.

Diese Analysenvorschriften wurden für homogene feste und flüssige Brennstoffe wie Kohle und Heizöl entwickelt und sind für die Abfallanalytik nur bedingt geeignet. Die Probleme liegen hier insbesondere in den Bereichen Probenahme und Probenaufbereitung. Die Einwaagemenge von etwa 1 g ist um den Faktor 10 höher als bei der TOC-Bestimmung, beträgt aber max. 10 % der Probemenge für die Bestimmung des Glühverlustes.

Der österreichische Gesetzgeber hat in der Deponieverordnung mit dem H_o einen neuen Parameter als Grenzwert für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle eingeführt. Eine allgemein anerkannte und praxistaugliche Vorgehensweise für die Probenahme, Probenaufbereitung und Durchführung der H_o -Bestimmung gibt es bisher nicht. Aus diesem Grund wurde auf Initiative des Bundesministeriums für Umwelt Jugend und Familie (BMUJF) im Österreichischen Normungsinstitut eine Arbeitsgruppe eingesetzt, in der auch das Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) durch den Verfasser vertreten ist. Diese Arbeitsgruppe soll nun auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse eine Analysenvorschrift erarbeiten. Neben dem Einsatz der handelsüblichen Kleinkalorimeter (Einwaage ca. 1 g), die in einigen österreichischen Laboratorien zur Verfügung stehen, sind der Bau und Betrieb eines Großkalorimeters (Einwaage ca. 15 kg) und 3 halbtechnische Verbrennungsversuche (Durchsatz jeweils ca. 1 Mg) vorgesehen. Ergebnisse sind frühestens Ende 1998 zu erwarten.

Im Unterschied zum TOC und Glühverlust, die den Trockenmasseanteil des organischen

Kohlenstoff beschreiben (sollen), hängt die Höhe des H_o sowohl von der Menge des organischen Kohlenstoffs als auch von der Art der organischen Verbindungen ab (quantitative und qualitative Abhängigkeit). Der Grenzwert für den H_o wurde vom Gesetzgeber mit 6.000 kJ/kg TS festgesetzt, um insbesondere zu gewährleisten, daß heizwertreiche, biologisch nicht abbaubare Materialien (insb. Kunststoffe) künftig nicht mehr deponiert werden sondern einer sinnvollen thermischen Verwertung zugeführt werden.

Da mit dem Parameter H_o sowohl biologisch abbaubare und nicht abbaubare Verbindungen erfaßt werden, ist eine direkte Beurteilung der biologischen Stabilität von Restabfällen nicht möglich. Zur Unterschreitung des H_o -Grenzwert von 6.000 kJ/kg TS ist neben der Abtrennung von heizwertreichen Materialien nach derzeitigem Wissensstand eine mindestens 12-wöchige biologische Behandlung unter optimierten Milieubedingungen erforderlich. Deshalb kann man in vielen Fällen davon ausgehen, daß bei Einhaltung des H_o -Grenzwertes auch eine ausreichende biologische Stabilität des Deponiematerials gegeben ist.

Trotzdem ist es erforderlich, die Deponieverordnung um einen oder mehrere Parameter zu ergänzen, die eine **direkte** Beurteilung der biologischen Restaktivität der mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfälle erlauben. Zu diesen Fragestellungen sind in den letzten Jahren insbesondere in Österreich und Deutschland umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden, deren Ergebnisse beispielsweise in [22, 29, 30, 31] nachgelesen werden können. Nach derzeitigem Wissensstand eignen sich die Bestimmung des **Gasbildungspotentials** und die Messung der **Atmungsaktivität** am besten zur Beurteilung der biologischen Stabilität von Restabfällen.

Tests zur Ermittlung der **Gasbildungspotentials (GB_x)** sollen den maximalen biologischen Abbau des (mechanisch-biologisch behandelten) Restabfalls unter Deponiebedingungen, d.h. anaeroben Verhältnissen simulieren. Durch mikrobielle Umsetzprozesse unter Luftabschluß soll die gesamte abbaubare organische Substanz in die Hauptprodukte CO₂, CH₄ und neue Biomasse umgesetzt werden. Über die Menge des gebildeten Biogases kann die zu erwartende Deponiegasmenge abgeschätzt werden. Außerdem werden über die Registrierung der gebildeten Gasmenge pro Zeiteinheit Aussagen über die Aktivität des Materials ermöglicht.

Für die Bestimmung des Gasbildungspotentials gibt es weder in Deutschland noch in Österreich eine allgemein anerkannte Analysenvorschrift. In Deutschland wird in den meisten Fällen der Gärtest verwendet, wobei i.d.R. etwa 50 g aufbereitete Frischprobe bei Versuchstemperaturen von 30 bis 40°C bei einem Wassergehalt von 90 % über mindestens 21 Tage (GB₂₁) beobachtet wird. Noch nicht einheitlich geregelt ist die Art der Probenaufbereitung und die Art der Probenimpfung, so daß die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse bisher nur bedingt gegeben ist.

Für Österreich schlagen Binner et.al. die Messung des Gasbildungspotentials mittels Inkubationsversuch vor. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß die Einwaagemenge mit ca. 1 kg um den Faktor 20 höher ist als beim Gärtest und damit reproduzierbarere Ergebnisse zu erwarten sind. Die Frischprobe wird bei 20 mm abgesiebt und der Siebdurchgang nach der Wassergehalteeinstellung (orientiert sich an der Wasserkapazität des Materials) bei 40°C über 90 Tage (GB₉₀) inkubiert und die Gasmenge ermittelt.

Das Grundproblem beider Meßmethoden ist die lange Versuchsdauer von 3 Wochen bzw. 3 Monaten, so daß sie für Routineuntersuchungen bzw. die Eigenüberwachung nicht in Frage kommen. In Deutschland werden derzeit Richtwerte zwischen 8 und 20 NI/kg TS für den GB₂₁ diskutiert, während Binner et.al einen Grenzwert für den GB₉₀ von 20 NI/kg TS vorschlagen [29, 31].

Der Sauerstoffverbrauch pro Zeiteinheit während des aeroben Abbaus von organischer Substanz wird als **Atmungsaktivität (AT_x)** bezeichnet. Die Atmungsaktivität nimmt mit zunehmender "Reife" des Rottegutes (d.h. zunehmender Behandlungsdauer) ab.

Für den Parameter Atmungsaktivität existiert noch keine genormte Analysenvorschrift, die Messung wird aber in der Regel mittels Sapromat durchgeführt. Bei der Analyse werden etwa 50 g frische oder durch Tiefkühlung (-18 °C) konservierte, aufgetaute Feuchtsubstanz eingewogen, ein optimaler Wassergehalt zwischen 45 und 50 % WG eingestellt und 4 bzw. 7 Tage lang bei 20 °C inkubiert. Die während der Inkubationszeit veratmete Sauerstoffmenge wird auf die eingewogene Trockensubstanz bezogen und als mg O₂/g TS angegeben.

In Österreich wird von Binner et.al. ein Grenzwert AT₇ von 15 mg O₂/g TS vorgeschlagen, während das Umweltbundesamt einen AT₇ von 10 mg O₂/g TS präferiert [29, 32]. In Deutschland wird die AT₄-Messung bevorzugt und ein Richtwert von 5 mg O₂/g TS diskutiert [31].

Die längere Analysendauer von 7 Tagen ist aus Sicht von Binner et.al erforderlich, um Toxizitätseinflüsse zu minimieren, wobei diese Schlußfolgerung auf Basis von nur einer Einzeluntersuchung getroffen wurde. Prinzipiell ist eine längere Meßdauer sinnvoll, da die Qualität der Meßergebnisse (Reproduzierbarkeit, Richtigkeit) ohne Zweifel steigt. Es ist aber fraglich, ob die zusätzlichen Kosten gerechtfertigt sind, da bisher im Rahmen der eigenen Untersuchungen kein einziger Fall von temporärer Toxizität in den ersten Tagen aufgetreten ist. Wenn eine Probe von mechanisch-biologisch vorbehandelten Material toxisch ist, was nur sehr selten vorkommt (1 bis 3 %), hilft auch die Ausweitung der Versuchsdauer auf 7 Tage nicht.

Bei der Erarbeitung und Festlegung von Meßmethoden und Grenzwerten ist aus Sicht des Verfassers eine enge Zusammenarbeit zwischen den einschlägigen Institutionen in

Deutschland und Österreich zu empfehlen, da diese beiden Länder auf dem Gebiet der MBR in Europa die führende Rolle übernommen haben und die Reibungsverluste aufgrund nicht vergleichbarer Analysenwerte möglichst gering gehalten werden sollte!

3.4 Vorteile der MBR im Vergleich zur direkten Deponierung

Die mechanisch-biologische Restabfallbehandlung weist im Vergleich zur direkten Deponierung eine ganze Reihe von ökologischen Vorteilen auf und diese sind seit vielen Jahren bekannt. Anhand von eigenen Untersuchungen an Betriebsanlagen, ergänzt durch Ergebnisse anderer Institutionen sind in Tabelle 3.4 die wesentlichen Materialeigenschaften und das Verhalten der mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen im Vergleich zu unbehandelten Restabfällen auf der Deponie zusammengestellt. Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß der Anlagenbetrieb hinsichtlich der gemessenen Parameter in den meisten Fällen noch zu optimieren ist und somit weitere Verbesserungen zu erwarten sind.

Für die direkte Beurteilung der biologischen Aktivität des Deponiematerials eignet sich der Parameter H_0 genauso wenig wie der Glühverlust oder der TOC. Wie in Abschnitt 3.3 erläutert, liefern nach derzeitigem Wissensstand die Kriterien Gasbildungspotential (GB_{21} oder GB_{90} in Nm^3/Mg TS) und Atmungsaktivität (AT_4 oder AT_7 in $mg O_2/g$ TS) aussagekräftige Ergebnisse. Sowohl das Gasbildungspotential als auch die Atmungsaktivität lassen sich durch eine ca. 16-wöchige aerobe biologische Behandlung sicher um über 90 % reduzieren. Der in Deutschland diskutierte Richtwert für die Atmungsaktivität gemessen als AT_4 von $5 mg O_2/g$ TS kann in der Regel nach 12-16 Wochen Rotte eingehalten werden. In Österreich werden derzeit vergleichbare AT_7 -Richtwerte von 10 bis $15 mg O_2/g$ TS diskutiert.

Die Reduktion des oberen Heizwertes (H_0) auf $< 6.000 kJ/kg$ TS kann nur durch die konsequente Umsetzung des mechanisch-biologischen Restabfallsplittings (MBRS) erreicht werden, d.h. Abtrennung und thermische Behandlung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Bestandteile und eine optimierte anaerobe und/oder aerobe biologische Behandlung von ca. 12 bis 16 Wochen.

Tabelle 3.4: Charakterisierung des Endproduktes aus der MBR und dessen Deponieverhalten nach eigenen Untersuchungen und [29, 31, 33]

	Einheit	Restabfall unbehandelt	Restabfall nach MBR	Reduktion
Materialeigenschaften:				
Massenreduktion (inkl. Splitting)	% FS	100	ca. 40	ca. 60 %
Reduktion der o. Subst. (GV) ¹⁾	% TS	47 - 58	28 - 39	30 - 50 %

Red. d. biol. abb. o. S (OTS _{bio}) ¹⁾	%TS	45 - 54	23 - 30	35 - 55 %
Verminderung desH ₂ O ²⁾	kJ/kg TS	12.000-16.000	< 6.000	> 50 %
Atmungsaktivität (AT ₄) ¹⁾	mg O ₂ /g TS	50 - 80	2-5	> 90 %
Atmungsaktivität (AT ₄) ³⁾	mg O ₂ /g TS	100	< 5	> 95 %
Atmungsaktivität (AT ₇) ⁴⁾	mg O ₂ /g TS	-	14	-
Atmungsaktivität (AT ₇) ⁵⁾	mg O ₂ /g TS	120	19	84 %
Atmungsaktivität (AT ₇) ⁶⁾	mg O ₂ /g TS	75	7	> 90 %
Gasbildungspotential GB ₉₀ ⁶⁾	NI/kg TS	> 200	14-16	> 90 %
Atmungsaktivität (AT ₄) ⁷⁾	mg O ₂ /g TS	50	< 5	> 90 %
Gasbildungspotential GB ₂₁ ⁷⁾	NI/kg TS	220	< 20	> 90 %
BSB ₅ - im Eluat	mg O ₂ /l	3.000 - 4.000	< 300	> 90 %
CSB - im Eluat	mg O ₂ /l	4.000 - 10.000	< 500	> 90 %
TOC - im Eluat ⁷⁾	mg/l	1.800 - 3.500	< 300	> 85 %
Materialverhalten unter Deponiebedingungen:				
Saure Gärung vor Methanisierung	-	+	minimiert	> 90 %
Einbaudichte	Mg/m ³ FS	0.75 - 1.1	1.2 - 1.5	< 50 %
Scherfestigkeit und Kohäsion	-		erhöht	pos.
Deponieraumersparnis (einschl. Massenreduktion)	m ³ /Mg Input FS	> 0.9	0.3 - 0.4	> 60 %
Sickerwasserentwicklung	m ³ / t Input		minimiert ⁸⁾	> 90 %
Deponiesickerwasser				
- Ammonium	mg/l	1.000 - 2.000	100 - 200	> 90 %
- TOC	mg/l	8.000 - 15.000	500 - 1.500	> 90 %
- CSB	mg O ₂ /l	25.000 - 40.000	700 - 5.000	> 80 %
- BSB ₅	mg O ₂ /l	< 35.000	500 - 1000	> 80 %
Deponieabdeckung:				
Pflanzenverträglichkeit	-	keine	gegeben	pos.
Insitu Biofilteraktivität	-	keine	gegeben	pos.

- 1) nach 22 Wochen aerober Behandlung von Restmüll/Klärschlamm (MBRA Allerheiligen)
- 2) nach 12-16 Wochen aerober Behandlung
- 3) nach 12 Wochen aerober Behandlung [31]
- 4) nach 13 Wochen aerober Behandlung von Restmüll/Klärschlamm (MBRA Zell am See)
- 5) nach 7 Wochen aerober Behandlung von Restmüll < 50 mm (MBRA Kufstein)
- 6) nach 20 Wochen aerober Behandlung von Restmüll/Klärschlamm <25 mm (MBRA Oberpullendorf) [29]
- 7) nach 16 Wochen aerober Restmüllbehandlung (MBRA Lüneburg) [33]
- 8) in Abhängigkeit der örtlichen klimatischen Gegebenheiten, des Deponietyps und Art der Betriebsführung

Die MBR führt im Vergleich zur direkten Deponierung zu einer wesentlichen Einsparung von Deponieraum. Legt man die 400 kg FS Rottegut aus Tabelle 3.4 zugrunde, die bei der Behandlung von einem Mg Restabfall angefallen sind und geht zusätzlich davon aus, daß bis zu 100 kg Schlacke bei der Siebrestverbrennung entstehen, so sind maximal 500 kg zu deponieren. Bei einer Einbaudichte von 1,3 Mg/m³ wird für die Deponierung lediglich ein Volumen von 385 Liter benötigt, während für die direkte Deponierung von Restabfall mindestens 1 m³ Deponieraum verfüllt werden muß. Selbst für dieses auf konservativen Annahmen beruhende Rechenbeispiel beträgt die Deponieraumersparnis über 60 %.

Durch die geringe biologische Restaktivität des mechanisch-biologisch vorbehandelten Materials in Kombination mit einem hochverdichteten Einbau (k -Wert ca. 10^{-7}) können die über das Sickerwasser ausgetragenen Schadstofffrachten um 80 bis 90 % vermindert werden. Zur hydraulischen Durchlässigkeit des behandelten Restmülls kann grundsätzlich festgehalten werden, daß diese bei Erhöhung der Kenngrößen Einbau-/Ablagerungsdichte, Auflast/Deponiehöhe, Zerkleinerungsgrad und Abbaugrad der organischen Substanz sinkt [72]

Die Deponiegasmengen aus Kompartimenten von Massenabfalldeponien gemäß Deponieverordnung, die ausschließlich mit mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen beschickt worden sind, werden nach derzeitigem Wissensstand auch in den ersten 5 bis 10 Jahren weniger als $20 \text{ m}^3/\text{Mg}$ Deponiegut betragen [34]. In den folgenden Jahren wird die Gasbildungsrate noch geringer ausfallen. In den meisten Fällen, insbesondere bei Flächendeponien (geringe Schütthöhe), ist eine konventionelle aktive Entgasung und Deponiegasverwertung nicht mehr praktikabel. Aber auch bei Deponien mit höheren Schüttungen sind Probleme bei der aktiven Entgasung aufgrund der geringen Gasgängigkeit zu erwarten. In diesen Fällen sind alternative Oberflächenabdeckungen, bestehend aus spezieller Entwässerungs- und Gasverteilungsschicht mit darüberliegender Rekultivierungsschicht (z.B. aus Restmüllkompost), die als Biofilter zur Methanoxidation fungiert, wesentlich effizienter [35]. In der Praxis steht dieser Vorgehensweise § 22 Abs. 1 der Deponieverordnung entgegen, nachdem eine aktive Entgasung (derzeit) zwingend vorgeschrieben ist.

Aufgrund der weitgehend abgeschlossenen biologischen Abbauvorgänge ergeben sich für den Deponiebetrieb mit MBR-Material im Vergleich zu unbehandelten Restabfällen weitere Vorteile. Die zu erwartenden Setzungen liegen i.d.R. bei $< 5 \%$ und sind somit als unproblematisch zu bezeichnen. Die Anforderungen der TASI an die Festigkeit (Flügelscherfestigkeit $\geq 25 \text{ kN/m}^2$, einaxiale Druckfestigkeit $\geq 50 \text{ kN/m}^2$ und axiale Verformung $\leq 20 \%$) können von MBR-Material sicher erfüllt werden [72].

4 Betriebsanlagen zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR) in Österreich

4.1 Übersicht

4.1.1 Betriebsanlagen

Ausgehend von den Angaben des BAWP 1995 wurden vom Herbst 1996 bis Frühsommer 1997 insgesamt 14 Betriebsanlagen zur MBR besichtigt und dabei sind die wesentlichen spezifischen Daten zum Anlagenbetrieb erhoben worden. Außerdem wurden Proben des Deponiematerials gezogen und Schadstoffanalysen im umweltanalytischen Labor des IED durchgeführt. Die geographische Lage der untersuchten Betriebsanlagen kann Abbildung 4.1 entnommen werden.

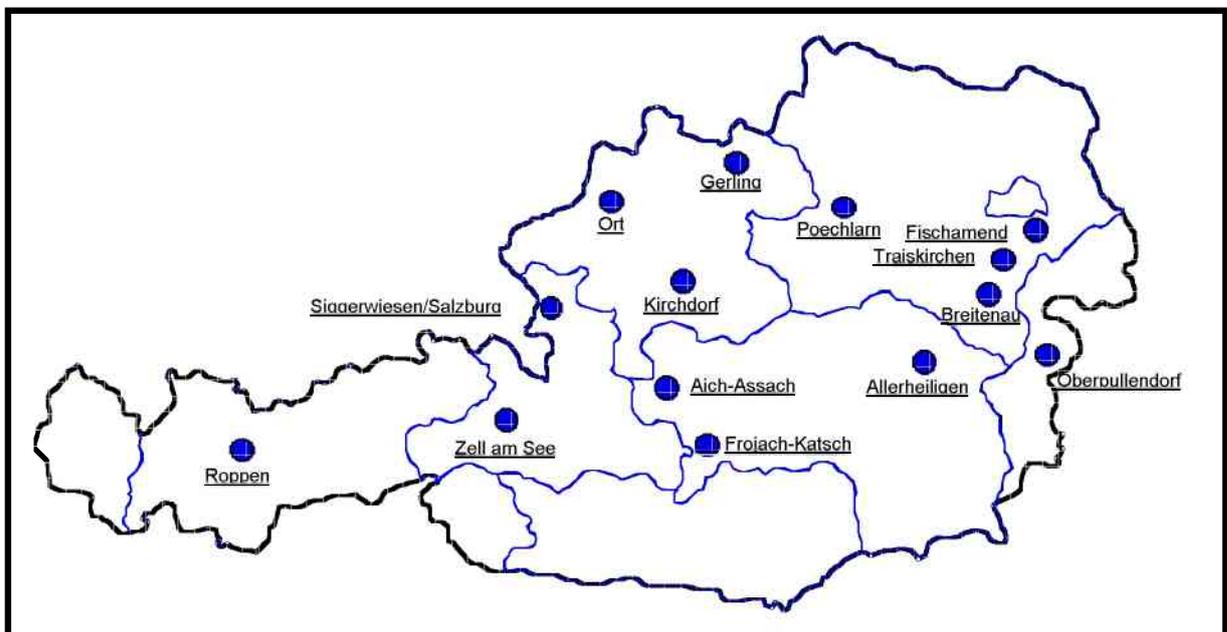


Abbildung 4.1: Geographische Lage der untersuchten MBRA in Österreich

Die Betriebsanlagen verteilen sich auf 6 der 9 österreichischen Bundesländer. In Tirol (Roppen) und dem Burgenland (Oberpullendorf) gibt es jeweils einen Standort, während im Bundesland Salzburg 2 MBRA (Siggerwiesen, Zell am See) betrieben werden. Die MBRA Roppen wurde Mitte 1997 auf Bioabfallbetrieb umgestellt, wird aber voraussichtlich in den kommenden Jahren, spätestens bis zum Jahr 2004 wieder reaktiviert. In Oberösterreich (Gerling, Kirchdorf, Ort im Innkreis) und der Steiermark (Aich/Assach, Allerheiligen, Frojach-Katsch) gibt es jeweils 3 MBRA. In Niederösterreich existieren derzeit 4 potentielle Anlagenstandorte für die MBR (Breitenau, Fischamend, Pöchlarn, Traiskirchen), wobei die beiden letztgenannten Betriebsanlagen Ende 1996 aus politischen Gründen stillgelegt wurden. In Kärnten, Vorarlberg und Wien existieren derzeit keine Betriebsanlagen zur MBR.

Neben den untersuchten MBRA gibt es einige Standorte von ehemaligen Betriebsanlagen, die in den letzten Jahren auf Bioabfallbetrieb umgestellt wurden (Attnang-Redlham, Katsdorf, Liezen und Lustenau) bzw. stillgelegt (Taufkirchen) worden sind. Insbesondere für die Standorte Liezen und Lustenau wird die Reaktivierung und Modernisierung der Anlagen zur MBR derzeit geprüft. Größere Neuanlagen mit Jahreskapazitäten > 50.000 Mg sind für die Standorte St. Pölten (Niederösterreich) und Halbenrain (Steiermark) geplant. In der Mitgliederliste des "Interessenverbandes MBA" werden darüber hinaus die Städte Wien (Magistratsabteilung 48), Wiener Neustadt und Stockerau, die Abfallwirtschaftsverbände Judenburg, Spittal an der Drau, Tirol Mitte, der Gemeindeverband Mödling sowie die Firmen Häusle, Kröpfl, ADL, ASA und Saubermacher als mögliche künftige Anlagenbetreiber geführt [36].

Nach einer kurzen Darstellung der aktuellen Pilotprojekte und sonstigen Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich werden in den folgenden Abschnitten die anlagenspezifischen Daten zu Input, mechanischer Vorbehandlung, biologischer Behandlung, mechanischer Nachbehandlung, festen Reststoffen und Emissionen der Betriebsanlagen erläutert. Als Datenbasis dienen die von den Anlagenbetreibern zur Verfügung gestellten Informationen und die Ergebnisse der eigenen abfallanalytischen Untersuchungen. Ausführlichere Beschreibungen der österreichischen Betriebsanlagen zur MBR können [37] entnommen werden.

4.1.2 Pilotprojekte und Studien

Durch das Inkrafttreten der Deponieverordnung wurden in Österreich eine ganze Reihe von Aktivitäten auf dem Gebiet der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung in Österreich ausgelöst. In den Tabellen 4.1 bis 4.3 sind bereits abgeschlossenen und laufenden Untersuchungen zu diesem Thema (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) zusammengestellt.

Darüber hinaus wurde im Frühjahr 1997 am Bundesministerium für Umwelt Jugend und Familie eine Arbeitsgruppe zur MBR eingerichtet. Im Österreichischen Normungsinstitut beschäftigt sich eine weitere Arbeitsgruppe mit der Ausarbeitung einer praxistauglichen Analysenvorschrift für die Bestimmung des oberen Heizwertes von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen. Es gibt inzwischen einschlägige Arbeitskreise im Verband der Österreichischen Entsorgungsbetriebe (VÖEB) und dem Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV) sowie einen Interessenverband mechanisch-biologische Abfallbehandlung (IV MBA). In sämtlichen Gremien ist die Arbeitsgruppe MBR des Institutes für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) zumindest mit einem Mitarbeiter vertreten.

Tabelle 4.1: Beispiele abgeschlossener und laufender Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich

Bearbeitung	Titel	Kurzbeschreibung
Niederösterreichische Umweltschutzanstalt Engenhardt, M.; Göschl, C. (1995)	Untersuchungen zur Restmüllrotte auf der Müllbehandlungsanlage Pöchlarn [38]	Brennwertuntersuchungen von Restmüll und Restmüll-Klärschlamm- Gemischen vor und nach einer mechanisch- biologischen Behandlung
Zivilingenueurbüro Ringhofer für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft Ringhofer, J (1995).	Versuche zur Restmüllrotte des BAV Freistadt [39]	Untersuchung zweier Restabfallmieten auf Schadstoffgehalte und biologischen Abbau
Allplan GesmbH Wien (1995)	Machbarkeitsstudie: Thermische Behandlung von nicht gefährlichen Stoffen [40]	Vergleich der Umweltauswirkungen von zentralen und dezentralen Verbrennungsanlagen mit und ohne MBR
Salzmann Ingenieurbüro für Biotechnologie Gaugg, J.; Wenger-Oehn, H. (1997)	Grundlagenerhebung zur Restmüllbehandlung in Vorarlberg [41]	Umfangreiche Daten- erfassung und chemische Analytik von frischen und gerotetet Restabfällen aus Vorarlberg
Montanuniversität Leoben (MUL) Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED), Arbeitsgruppe MBR Göbel, W. (1997)	Möglichkeiten zur Anpassung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungs- anlage der Salzburger Abfallbeseitigung (SAB) an den Stand der Technik [8]	Rotteversuche mit begleitender Schadstoff- analytik an der MBRA und Vorschläge für die Verbesserung der Anlage zur Anpassung an die zukünftigen Grenzwerte der Deponieverordnung
MUL-IED, Arbeitsgruppe MBR Angerer T. (1997)	Stand der mechanisch- biologischen Restabfallbehandlung in Österreich [37]	Besuch von 14 Betriebs- anlagen zur MBR in Österreich und Erhebung spezifischer zur Betriebs- weise sowie Untersuch- ung der Reststoffe
MUL, IED, Arbeitsgruppe MBR Nelles, M.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger B. Endbericht (1997)	Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband Projektphase 1 [42]	Untersuchungen zum Input der MBRA Aller- heiligen (insb. Restmüll und Klärschlamm) und zur Leistungsfähigkeit sowie zur Sickerwasser- belastung

Tabelle 4.2: Beispiele abgeschlossener und laufender Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich

Bearbeitung	Titel	Kurzbeschreibung
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Abteilung Abfallwirtschaft Binner, E.; Zach, A.; Widerin, M.; Lechner, P. (1997)	Auswahl und Anwendbarkeit von Parametern zur Charakterisierung der Endprodukte aus mechanisch-biologischen Restmüllbehandlungsverfahren [29]	Chemische, biochemische und biologische Analysen an Rotteendprodukten mehrerer österreichischer Restabfallbehandlungsanlagen und Vorschlag von Grenzwerten
Institut für Angewandte Mikrobiologie und Interuniversitäres Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie Tulln Universität für Bodenkultur Braun, R. (1997)	Anaerobtechnik für die mechanisch-biologische Vorbehandlung von Restmüll und Klärschlamm [43]	Übersicht über Anlagen und Verfahrenskonzepte der anaeroben Abfallbehandlung, Überprüfung des Einsatzes von anaeroben Verfahren für die MBR
RAB GesmbH und MUL-IED Arbeitsgruppe MBR Raninger, B.; Nelles, M.; Neff, R.; Harant, M.; Lorber, K.E.; Siebenhofer, M. (1997)	Konzeptstudie Restabfallsplitting Machbarkeitsstudie zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung [14]	Verfahrenstechnische und betriebswirtschaftliche Machbarkeit der MBR im Rahmen von integrierten AWK
Ingenieurbüro Fichtner Fuchs, A. (1997)	Anlagen zur aeroben mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restmüll und Klärschlamm [44]	Übersicht über Anlagen und Verfahrenskonzepte der aeroben mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung
MUL, IED, Arbeitsgruppe MBR Harant, M.; Nelles, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger B. Zwischenbericht (1997)	Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband - Projektphase 2a [45]	Erstellung einer Stoffstromanalyse für die MBRA Allerheiligen
MUL, IED, Arbeitsgruppe MBR Raninger B.; Nelles, M.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E. 1. Zwischenbericht (1997)	Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband - Projektphase 2b [34]	Untersuchungen zum Verhalten der mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfälle auf der Deponie
Scheidl Umweltanalytik; BLZ Kommunikation und Projektsteuerung, IUT Scheidl, Lahl U.; Göschl (1998)	Abluftemissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Österreich: Umweltrelevanz, Defizitanalyse [46]	Darstellung des Status quo der Abluftreinigung und -überwachung von MBRA in Österreich

Tabelle 4.3: Beispiele abgeschlossener und laufender Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich

Bearbeitung	Titel	Kurzbeschreibung
UBA Wien, (Herbst 1997 bis Ende 1998)	Abluftmessungen an Betriebsanlagen zur MBR in Österreich [46]	Aufbauend auf der zuvor genannten Studie sollen die offenen Fragestellungen durch aktuelle Messungen geklärt werden
Thöni Industriebetriebe Abteilung Umwelttechnik; MUL-IED, Arbeitsgruppe MBR, TU München, Lehrstuhl für Wassergüte und Abfallwirtschaft sowie Büro A&U Augsburg (Herbst 1997 bis Ende 98)	Möglichkeiten und Grenzen des Restabfallsplittings am Beispiel der Abfallbehandlungsanlage in Kufstein [47]	Basierend auf dem Tiroler Abfallwirtschaftskonzept, in dem das Restabfallsplitting vorgeschlagen wird, sollen in einem Großversuch Praxiserfahrungen für die Umsetzung gesammelt werden
Ziviltechnikerbüro Dipl.-Ing. Dr. Schippinger und Partner (Mitte 1997 bis Mitte 1998)	Mechanisch-biologische Behandlung der Feinfraktion als Maßnahme eines Optimierungskonzeptes in Bezug auf vorhandene Abfallbehandlungsanlagen am Beispiel der Müllanlage Liezen [48]	Im Rahmen der Untersuchungen soll die Reaktivierung der mechanisch-biologischen Behandlungsanlage, die Anfang der 90er Jahre auf Bioabfallbetrieb umgestellt wurde, geprüft werden
MUL-IED, Arbeitsgruppe MBR Harant, M.; Nelles, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger B.; (Ende 1997 bis Ende 1998)	Untersuchungen zur Optimierung der biologischen Behandlung und Abtrennung heizwertreicher Fraktionen in der MBRA Zell am See [13]	Die Betriebsanlage wurde vor dem Hintergrund der DVO modernisiert und wird nun ein Jahr wissenschaftlich begleitet
MUL-IED, Arbeitsgruppe MBR Nelles, M.; Ragosnig, A.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger B. (März 1998 bis März 1999)	Pilotprojekt zur MBRVV am Beispiel des Abfallwirtschaftszentrums in Halbenrain [11]	Stoffstrommanagement durch Zuordnung von Restabfällen zu optimalen Behandlungsverfahren unter Einbeziehung der biologischen Stufe zur Trockenstabilisierung
Universität für Bodenkultur (BOKU), Abteilung Abfallwirtschaft Humer, M; Lechner, P. (1997 bis 1999)	Biologische Methanoxidation zur Entsorgung von Deponiegas in der Praxis [35]	Nach der Erarbeitung der Grundlagen zur biologischen Methanoxidation sollen Feldversuche mit dem Ziel durchgeführt werden, alternative Oberflächenabdeckungen für Massenabfalldeponien zu entwickeln, die mit MBR-Material belegt sind

4.2 Anlageninput

Die wesentlichen Daten zum Anlageninput sind in Tabelle 4.4 zusammengestellt. Die Gesamtkapazität der MBRA in Österreich beläuft sich derzeit auf rund 380.000 Mg/a. Dabei ist berücksichtigt, daß die Anlagen in Pöchlarn und Traiskirchen Ende 1996 stillgelegt wurden und die MBRA Roppen seit Mitte 1997 vorübergehend auf reinen Bioabfallbetrieb umgestellt wurde. Die Anlagen sind im Durchschnitt zu ca. 75 % ausgelastet und verarbeiten zu fast 80 % Restabfälle der privaten Haushalte, wobei in diesem Prozentsatz teilweise größere Mengen hausmüllähnliche Gewerbeabfälle enthalten sind. In 9 MBRA werden kommunale, i.d.R. entwässerte Klärschlämme eingesetzt (ca. 14 % bezogen auf den Gesamtinput). Etwa 5 % der behandelten Restabfälle lassen sich unter dem Begriff "Sonstiges" subsumieren. Dabei handelt es sich in erster Linie um Sperrmüll, Rechengut aus Kläranlagen, biologisch abbaubare flüssige Abfälle aus dem Gewerbe, Friedhofsabfälle und Rückstände aus Sortieranlagen.

Tabelle 4.4: Verarbeitete Restabfälle bezogen auf das Jahr 1995 (Ausnahme: Allerheiligen 1996) in Mg

MBRA	Restabfall		Klär-schlamm	Sonst.	Gesamtinput	
	kommunal	gewerblich			realisiert	genehmigt
Oberpullendorf	31.000 ¹⁾	-	6.000	3.000	40.000	40.000
Breitenau	26.400 ²⁾	-	-	-	26.400	45.000
Fischamend	15.000 ³⁾	-	3.000 ³⁾	-	18.000 ³⁾	18.000 ³⁾
Pöchlarn	9.800	600	2.200	300	12.900	19.000
Traiskirchen	10.280	720	500	-	12.000	17.500
Gerling	15.000	-	-	-	15.000	15.000
Kirchdorf	6.170	-	-	-	6.170	10.000
Ort im Innkreis	17.541	-	-	-	17.541	30.000
Siggerwiesen	73.188 ¹⁾	-	21.651	11.376	106.215	160.000
Zell am See	20.000	3.780	5.000	-	28.780	30.000
Aich/Assach	4.821 ⁴⁾	-	899	442	6.162	9.500
Allerheiligen	11.056	-	4.477	-	15.533	17.100
Frojach/Katsch	4.487	-	-	1.122	5.609	6.500
Roppen	12.000	-	2.000	-	14.000	22.000
Summe	256.743	5.100	45.727	16.090	323.660	439.600

1) größere Mengen Gewerbeabfälle enthalten, die nicht getrennt erfaßt wurden

2) keine Biotonne: hier werden 13.200 Mg Trockenmüll und 13.200 Naßmüll getrennt erfaßt

3) genehmigte Mengen, da erst Mitte 1996 in Betrieb gegangen

4) keine Biotonne: hier wird der gemischte Hausmüll in der Biomixtonne gesammelt

Sonderfälle der MBR bilden die Anlagen in Breitenau und Aich/Assach.

Die MBRA in Breitenau wird vom Reinhalteverband "Grüne Tonne" GmbH betrieben. Im Verbandsgebiet, das aus 43 Gemeinden besteht, werden weder Bioabfälle noch Verpackungsmaterialien (Ausnahme: Altglas) getrennt gesammelt. Der gesamte Hausmüll wird über ein 2-Tonnensystem eingesammelt und der MBRA Breitenau zugeführt.

In der "grünen Tonne" wird der sogenannte "Trockenmüll" eingesammelt, der im wesentlichen aus verwertbaren Haushaltsabfällen (Papier, Kunststoffe, Glas usw.) ohne biogene Abfälle besteht. In der MBRA werden die Altstoffe mittels händischer Sortierung separiert und anschließend verwertet.

In der "grauen Tonne" wird der sogenannte "Naßmüll" erfaßt, der in erster Linie aus biogenen Materialien, mit Lebensmitteln verunreinigtem Papier und Feinmüll besteht. Da im Winter über die graue Tonne auch die Asche aus Hausfeuerungen gesammelt wird, sind im Vergleich zur klassischen Biotonne höhere Schadstoffgehalte, insbesondere Schwermetallgehalte feststellbar. Auf diese Weise werden der MBRA insgesamt ca. 26.400 Mg zugeführt, wobei die massenmäßige Aufteilung auf die beiden Sammellinien bei etwa 1:1 liegt. Ein Ziel des Anlagenbetriebes ist es, aus dem Naßmüll einen verwertbaren Müllkompost gemäß ÖNORM S 2022 zu erzeugen [49]. Im folgenden wird lediglich auf die Naßmüllbehandlung eingegangen.

Die MBRA in Aich/Assach wird vom AWW Schladming betrieben und liegt in einem Gebiet, das stark durch den Wintertourismus beeinflusst wird. Im Einzugsgebiet der Anlage leben rund 20.000 Einwohner, denen vom AWW eine sehr gute Infrastruktur zur getrennten Sammlung von Altstoffen (Papier, Pappe, Glas, Verpackungen) und Problemstoffen geboten wird. Die verbleibenden Restabfälle der privaten Haushalte und haushalts-ähnlichen Einrichtungen werden über die sogenannte "Biomixtonne" eingesammelt und der MBRA in Aich/Assach zugeführt. Da auch hier aus dem Material ein verwertbarer Müllkompost erzeugt werden soll, spielt die getrennte Sammlung und manuelle Abtrennung der Problemstoffe (z.B. Batterien) eine besondere Rolle. Nach Ansicht des Verfassers sollte bei Anlagen zur Restabfallbehandlung aus Gründen der Arbeitshygiene bzw -sicherheit auf händische Sortierungen grundsätzlich verzichtet werden.

4.3 Mechanische Vorbehandlung

Die mechanischen Behandlungsschritte dienen in erster Linie dazu, den Anlageninput auf die anschließende biologische Behandlung vorzubereiten. Die Charakteristika der mechanischen Vorbehandlung in den MBRA sind in Tabelle 4.5 zusammengestellt. Im ersten Schritt werden die Restabfälle i.d.R. mittels Hammermühlen, Schredder, Walzen- oder Schneidmühlen zerkleinert. In Traiskirchen und Breitenau werden lediglich statische Messer, in erster Linie zum Aufreißen von Kunststoffsäcken und ähnlichen Gebinden, eingesetzt. In Aich/Assach, Gerling und auch bei der zweitgrößten MBRA, in Oberpullendorf, wird auf eine

Zerkleinerung völlig verzichtet.

Tabelle 4.5: Mechanische Behandlungsschritte in den österreichischen MBRA

MBRA	Stufen der mechanischen Vorbehandlung
Oberpullendorf	Fe-Abscheidung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung, Siebung (65 mm und 25 mm)
Breitenau	Naßmüll: Sackaufreißer, ballistische Separation, Fe-Abscheidung
Fischamend	Zerkleinerung, Fe-Abtrennung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung
Pöchlarn	Zerkleinerung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung, Siebung (70 mm), Fe-Abscheidung
Traiskirchen	Sackaufreißer, Fe-Abtrennung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung, Siebung (130 mm und 35 mm)
Gerling	Siebung (80 mm)
Kirchdorf	Zerkleinerung, Fe-Abscheidung, ballistische Separation (50 mm)
Ort im Innkreis	Zerkleinerung, Homogenisierung, Siebung (120 mm) Fe-Abscheidung
Siggerwiesen	Zerkleinerung, Fe-Abscheidung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung, Fe-Abscheidung
Zell am See	Zerkleinerung, Fe-Abscheidung, Siebung (100 mm), Klärschlamm dosierung, Homogenisierung
Aich/Assach	Handauslese, Siebung (60 mm), Fe-Abscheidung, Hartstoffabscheidung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung
Allerheiligen	Zerkleinerung, Fe-Abscheidung, Siebung (80 mm), Klärschlamm dosierung, Homogenisierung
Frojach/Katsch	Zerkleinerung, Siebung (25 mm), Fe-Abscheidung
Roppen	Zerkleinerung, Klärschlamm dosierung, Homogenisierung, Siebung (35 mm), Fe-Abscheidung

Mit Ausnahme der MBRA in Gerling werden die Fe-Metalle mittels Magnetscheidung abgetrennt und sollen nach Möglichkeit als Sekundärrohstoff verwertet werden. Die Magnetscheidung findet entweder direkt nach der Zerkleinerung oder am Ende der mechanischen Vorbehandlung statt. Lediglich in Siggerwiesen sind an beiden Stellen Magnetscheider installiert.

Die mechanischen Stufen der MBRA Fischamend und Siggerwiesen werden im Sinne der MBRVD betrieben, da hier keine weitere Abtrennung von Stoffströmen vor der biologischen Behandlung vorgesehen ist. Mit Ausnahme der abgetrennten Fe-Metalle wird hier der gesamte Input biologisch behandelt und schließlich deponiert.

Bei den übrigen 10 MBRA werden durch Absiebung oder ballistische Trennung mindestens 2

Fractionen erzeugt, von denen nur die heizwertarme Schwerfraktion (Siebdurchgang) der nachfolgenden biologischen Behandlung unterzogen wird. Die heizwertreiche(n) Leichtfraktion(en) werden ausgeschleust und sollten gemäß dem Prinzip des Restabfallsplittings einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Da die Deponierung der Leichtfraktion gemäß WRG-Novelle zumindest bis zum 1.1.2004 erlaubt ist und die Deponiepreise derzeit in vielen Fällen wesentlich geringer sind als die Kosten für eine thermische Behandlung, werden die heizwertreichen Materialien bei fast allen MBRA in Österreich, teilweise in Form von gepreßten Ballen, deponiert. Einzige Ausnahme ist hier die MBRA Kirchdorf, die einen Sonderfall darstellt. Hier wird zum Splitting des Restabfalls ein ballistischer Separator verwendet, der den Restabfall bei 50 mm absiebt und das Material > 50 mm in eine Schwerfraktion (Anreicherung von inerten Materialien) und eine Leichtfraktion trennt. Die Schwerfraktion wird deponiert und die Leichtfraktion in der MVA Wels verbrannt.

In 9 MBRA werden auch kommunale Klärschlämme verarbeitet, die i.d.R. im entwässerten Zustand (25 - 40 % TS) bei der Homogenisierung der Restabfälle zugegeben werden. Teilweise werden auch flüssige kommunale Klärschlämme (ca. 5 % TS) mitbehandelt. Die Klärschlammzugabe ist im Hinblick auf die biologische Behandlung sinnvoll, da dies zu einer Anhebung des Wassergehaltes und zu einer Verbesserung des C/N-Verhältnisses führt.

Für die Homogenisierung des Materials werden in 7 MBRA (Oberpullendorf, Traiskirchen, Pöchlarn, Ort im Innkreis, Siggerwiesen, Zell am See, Roppen) Rottetrommeln eingesetzt. Diese drehen sich mit 0,5 bis 1,5 Umdrehungen pro Minute. Das Material bewegt sich aufgrund der Schwerkraft in Richtung Austragsende der Rottetrommel, wird dabei homogenisiert und mechanisch aufgeschlossen. Bei den sogenannten klassischen Dano-Rottetrommeln ist am Ende des Materialaustrag eine Siebstufe integriert, die bei der Mitverarbeitung von Klärschlamm zu einer ungünstigen Siebretequalität führt. In Österreich werden Rottetrommeln der Firmen Dano, Ruthner und Thyssen eingesetzt. Die mittlere Verweilzeit beträgt 24 bis 36 Stunden. Neben der reinen Homogenisierung des Materials werden die Rottetrommeln auch zur Einstellung des Wassergehaltes und C/N-Verhältnisses sowie zum mechanischen Aufschluß (Zerfaserung) eingesetzt. In einigen MBRA werden die Rottetrommeln mit Siebtrommeln kombiniert und der Materialaustrag in eine Schwer- und eine oder mehrere Leichtfraktionen aufgetrennt. Auf die Funktion als biologische Vorbehandlungsmaßnahme wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

In den übrigen MBRA, in denen eine spezielle mechanische Stufe zur Homogenisierung vorgesehen ist, werden Chargenmischer unterschiedlicher Bauart eingesetzt, die den Vorteil haben, daß sie kostengünstiger bei der Anschaffung und im Betrieb sind. Sie haben aber den Nachteil, daß die Homogenisierung in kleineren Chargen erfolgt und diese insbesondere bei den einfacheren Aggregaten schlechter ist.

4.4 Biologische Behandlung



Die mikrobielle Oxidation der organischen Substanz findet bei der aeroben Behandlung in erster Linie in der Hauptrotte statt, die sich nach Vorschlag des UBA Wien (theoretisch) in Intensiv- und Extensivrotte untergliedern läßt. Beide Behandlungsschritte führen unter optimierten Prozeßbedingungen zu einem erheblichen Abbau organischer Substanz, wobei der Intensivrotte die ersten 14 bis 21 Tage nach Beginn der ersten technischen Belüftung zugeordnet werden. Sinnvoll ist die Untergliederung in Intensiv- und Extensivrotte für die Beurteilung der Emissionsproblematik bei der MBR, da insbesondere die flüchtigen organischen Schadstoffe in den ersten 2 bis 3 Wochen über die Abluft emittiert werden.

Die abschließende biologische Behandlung nach der Hauptrotte wird als Nachrotte bzw. Fertigrotte bezeichnet und ist durch eine nur noch geringe mikrobielle Aktivität gekennzeichnet. Während der gegebenenfalls vorgesehenen Nachlagerung des Rottegutes laufen überwiegend Huminifizierungsprozesse unter Einbindung der noch verfügbaren Stickstoffverbindungen ab.

Die Aufstellung der biologischen Behandlungsschritte der österreichischen MBRA in Tabelle 4.6 verdeutlicht, daß eine exakte Einteilung in Intensiv-, Extensiv- und Nachrotte in der Praxis nicht möglich ist. Trotzdem werden die Begriffe im folgenden nach Möglichkeit verwendet.

In 7 MBRA (Oberpullendorf, Traiskirchen, Pöchlarn, Ort im Innkreis, Siggerwiesen, Zell am See, Roppen) werden die bereits erwähnten Rottetrommeln als erster Schritt der Intensivrotte zur "biologischen Aktivierung" eingesetzt. Während der durchschnittlichen Verweilzeit von ca. 24 bis 36 Stunden wird das Material ständig bewegt und es ist eine ausreichende Sauerstoffversorgung, auch für leicht fäulnisfähige Substanzen gewährleistet. Durch eine Bewässerung, z.B. durch Klärschlamm- oder (Ab-)Wasserzugabe lassen sich die optimalen Milieubedingungen für die anschließende Intensiv- bzw. Hauptrotte einstellen. Die Selbsterhitzung des Materials auf 30 bis 45°C in den Rottetrommeln dokumentiert den einsetzenden biologischen Abbau der organischen Substanz.

Die Hauptrotte des Materials wird in 11 MBRA ausschließlich mittels Mietenrotteverfahren durchgeführt, wobei der technische Ausstattungsstandard sehr unterschiedlich ist. Die Rotte in Oberpullendorf, Siggerwiesen und Roppen findet in geschlossenen Hallen mit Abluffertfassung statt, in Fischamend, Kirchdorf und Frojach-Katsch ist die Intensivrotte zumindest überdacht und in den MBRA Breitenau, Pöchlarn, Traiskirchen, und Ort im Innkreis wird die offene Mietenrotte praktiziert.

Tabelle 4.6: Biologische Behandlungsschritte in den österreichischen MBRA

MBRA	Stufen der biologischen Behandlung	Hauptrotteverfahren
Oberpullendorf	1-2 Tage dynamische, belüftete, bewässerte, biologische Aktivierung (Rottetrommel) + 10 Wo. quasi-dynamische, belüftete, bewässerte Mietenrotte + 12 Wo. statische Mietenrotte; Gesamttrottedauer (GRD): ca. 22 Wo.	Rottetrommel + Wendetechnik
Breitenau	8-10 Wo. quasi-dynamische, bewässerte	offene Mietenrotte mit

	Mietenrotte, Feinabsiebung bei 6 mm + 8-12 Wo. statische Mietenrotte des Siebdurchgangs; GRD: 16-22 Wo.	Umsetzen
Fischamend	ca. 6 Wo. quasi-dynamische Mietenrotte; GRD: ca. 6 Wo.	überdachte Mietenrotte mit Umsetzen
Pöchlarn	1-2 Tage Rottetrommel + 17-26 Wochen quasi-dynamische Mietenrotte GRD: 17-26 Wo.	Rottetrommel + offene Mietenrotte mit Umsetzen
Traiskirchen	1-2 Tage Rottetrommel + 17-26 Wochen quasi-dynamische Mietenrotte; GRD: 17-24 Wo.	Rottetrommel + offene Mietenrotte mit Umsetzen
Gerling	26-34 Wochen quasi-dynamische Mietenrotte; GRD: 26-34 Wo.	eingehauste Mietenrotte mit Umsetzen
Kirchdorf	4-6 Wo. quasi-dynamische Mietenrotte + Weiterbehandlung in Aich/Assach; GRD: 28-30 Wo.	überdachte Mietenrotte mit Umsetzen
Ort im Innkreis	ca. 26 Wochen statische Mietenrotte; GRD: ca. 26 Wo.	offene Mietenrotte ohne Umsetzen
Siggerwiesen	1-2 Tage Rottetrommel + 3-4 Wo. belüftete statische Tafelmiete; GRD: 3-4 Wo.	Rottetrommel + eingehauste Rotteplatte (Mieten)
Zell am See	1-2 Tage Rottetrommel (+ 3 Wo. belüftete Rotteboxen) + 10 Wo. Quasi-dynamische, belüftete bewässerte Mietenrotte; GRD: ca. 13 Wo.	Rottetrommel + Wendetechnik
Aich/Assach	Rotte-Filter-Verfahren: 11-14 Wo. statische, belüftete, bewässerte Rottezellen + 12 Wo. statische, belüftete Rottezellen; Feinabsiebung bei 6 mm + 15 Wo. statische Rottezellen des Siebdurchgangs; GRD: 38-41 Wo.	Rotte-Filter-Verfahren
Allerheiligen	2 Wo. statische, belüftete, bewässerte Tunnelrotte + 4 Wo. statische, belüftete, (bewässerte) Mietenrotte + 16 Wo. statische Mietenrotte; GRD: ca. 22 Wo.	Tunnelrotte + eingehauste Rotteplatte (Mieten)
Frojach/Katsch	8-12 Wo. quasi-dynamische Mietenrotte + 26-52 Wochen statische Mietenrotte; GRD: 34-64 Wo.	überdachte Mietenrotte mit Umsetzen
Roppen	1-2 Tage Rottetrommel + 4 Wo. quasi-dynamische, belüftete, (bewässerte) Mietenrotte; GRD: ca. 4 Wo.	Rottetrommel + eingehauste Dynakomp-Mietenrotte

In Aich/Assach wird das Rotte-Filter-Verfahren (Rottezellen) sowohl für die Hauptrotte als auch für die Nachrotte eingesetzt.

Getrennte Intensivrottstufen werden in Zell am See und in Allerheiligen betrieben. In Zell am See waren die Rottezellen im Winter 1996 noch nicht in Betrieb, werden aber inzwischen für die Intensivrotte eingesetzt. Die Extensivrotte wird mittels Wendetechnik durchgeführt. In Allerheiligen werden Rottetunnel der Fa. BAS zur Intensivrotte eingesetzt und die Extensivrotte als Mietenrotte durchgeführt.

Die rottebegleitenden Maßnahmen (Umsetzen und Bewässerung) für die einzelnen MBRA in Österreich können Tabelle 4.6 entnommen werden. Eine Zwangsbelüftung der Hauptrotte ist in fast allen MBRA (Ausnahme Ort im Innkreis) vorgesehen. Die Intensität der Belüftung ist allerdings sehr unterschiedlich und reicht vom Umsetzen des Materials mittels Radlader alle 4 bis 6 Wochen bis zur permanenten Zwangsbelüftung z.B. in Siggerwiesen und Allerheiligen mit bis zu 20 m³ Luft pro m³ Rottegut und Stunde. Möglichkeiten zur Bewässerung des Intensivrottematerials sind in Allerheiligen, Oberpullendorf, Breitenau, Aich/Assach und Roppen vorgesehen. In Roppen wurde das Rottegut nicht bewässert, da die MBRA im Besuchszeitraum zur Trockenstabilisierung des Restabfalls einsetzt wurde.

Für die Dauer der Hauptrotte bei den MBRA ergeben sich unterschiedliche Verweilzeiten, die sich zwischen ca. 4 Wochen (Siggerwiesen) und bis zu 6 Monaten (Aich-Assach) bewegen, wobei zu erwähnen ist, daß auch eine präzise Abgrenzung zur Nachrotte nicht möglich ist.

Eine Nach- bzw. Fertigrotte ist bei den MBRA in Oberpullendorf, Breitenau, Allerheiligen, Frojach-Katsch und Aich/Assach vorgesehen. Während bei den 4 erstgenannten MBRA die statische Mietenrotte verwendet wird, kommen in Aich/Assach Rottezellen zum Einsatz. Die 16 Wochen Nachrotte, die nach projektierten Verfahrensablauf in Allerheiligen vorgesehen sind, werden im Regelbetrieb nur für eine Teilmenge durchlaufen (siehe auch Abschnitt 5). Der Großteil des Rottegutes wird derzeit nach maximal 6-8 Wochen biologischer Behandlung deponiert. Die Nachrottedauer für die anderen MBRA liegt zwischen 3 und 12 Monaten.

4.5 Mechanische Nachbehandlung

Eine mechanische Aufbereitung des Rottegutes wird derzeit nur bei den MBRA Breitenau und Aich/Assach im Regelbetrieb durchgeführt. In beiden Anlagen wird das Material nach Abschluß der Hauptrotte bei 6 bis 9 mm abgesiebt und nur der Siebdurchgang der Nachrotte unterzogen. Damit soll die Qualität des Rottegutes, insbesondere hinsichtlich Stör- und Schadstoffgehalt, soweit angehoben werden, daß die Verwertung möglich ist. Wie in Abschnitt 4.2 erwähnt handelt es sich bei diesen beiden MBRA um Sonderfälle, da hier Mischmüllkomposte gemäß ÖNORM S 2022 erzeugt werden, die sich nach Auskunft der Betreiber auch heute noch absetzen lassen.

Bei den übrigen MBRA werden derzeit im Regelbetrieb keine mechanischen Aufbereitungsschritte nach der biologischen Stufe durchgeführt. Die in Siggerwiesen vorhandenen Aggregate werden inzwischen zur Konfektionierung von Bioabfallkompost eingesetzt. Da sich der in der DVO vorgesehene Grenzwert für den oberen Heizwert ($H_o = 6.000 \text{ kJ/kg TS}$) aber nur durch eine effektive Entfernung der heizwertreichen Bestandteile realisieren läßt, werden von den Anlagenbetreibern derzeit entsprechende mechanische Aufbereitungsschritte während und nach der biologischen Behandlung auf deren Wirksamkeit überprüft.

Beispielfähig können hier die Untersuchungen des IED an den MBRA Allerheiligen, Siggerwiesen und Zell am See sowie an der Versuchsanlage Kufstein genannt werden [42, 8, 13, 47].

4.6 Feste Reststoffe

4.6.1 Verwertung und Entsorgung

Als feste Reststoffe fällt in allen 14 österreichischen MBRA das Rottegut an, in 13 Betriebsanlagen werden Fe-Metalle mittels Magnetscheidung abgetrennt und in 12 MBRA wird eine heizwertreiche Leichtfraktion ausgeschleust.

In Tabelle 4.7 sind die derzeitigen Verwertungs- und Entsorgungswege für die festen Reststoffe aus der MBR zusammengestellt. Nach Angaben der Betreiber werden die Fe-Metalle der stofflichen Verwertung zugeführt. Bei den Besichtigungen war der Reinheitsgrad der abgetrennten Metalle in Einzelfällen so schlecht, daß eine Verwertung weder sinnvoll noch möglich erscheint. Bei den meisten MBRA werden aber gute bis sehr gute Qualitäten erzielt.

Die MBRA in Fischamend und Siggerwiesen werden derzeit im Sinne der klassischen MBRVD betrieben, d.h. heizwertreiche Leichtfraktion(en) werden nicht ausgeschleust. Demzufolge durchläuft der gesamte Input mit Ausnahme der Fe-Metalle die biologische Behandlung und wird anschließend deponiert.

Bei den anderen MBRA wird die mechanische Vorbehandlung im Sinne des Restabfallsplittings (MBRS) betrieben und eine oder mehrere heizwertreiche Leichtfraktionen abgetrennt. Die thermische Behandlung dieser Fraktionen ist bisher aber nur für die MBRA in Kirchdorf realisiert worden. Die Leichtfraktion wird in der oberösterreichischen MVA in Wels verbrannt. Die Leichtfraktionen der anderen 11 MBRA werden derzeit (teilweise zu Ballen gepreßt) deponiert.

Tabelle 4.7: Verwertungs- und Entsorgungswege für die festen Reststoffe aus den MBRA in Österreich

MBRA	Anfallende Reststoffe und deren weitere Behandlung:		
	Fe-Metalle	Leichtfraktion(en)	Rottegut
Oberpullendorf	Verwertung	Deponie	Deponie
Breitenau	“	Deponie	Verwertung
Fischamend	“	Deponie	
Pöchlarn	“	Deponie	Deponie
Traiskirchen	“	Deponie	Deponie

Gerling	keine Fe- Abtrennung	Deponie	Deponie
Kirchdorf ¹⁾	Verwertung	MVA Wels	Verwertung
Ort im Innkreis	“	Deponie	Deponie
Siggerwiesen	“	Deponie	
Zell am See	“	Deponie	Deponie
Aich/Assach	“	Deponie	Verwertung
Allerheiligen	“	Deponie	Deponie
Frojach/Katsch	“	Deponie	Deponie
Roppen	“	Deponie	Deponie

¹⁾ zusätzlich fällt eine mit inerten Materialien angereicherte Schwerfraktion an, die deponiert wird

Das Rottegut aus den MBRA Breitenau und Aich/Assach wird derzeit auf der Basis von befristeten Ausnahmegenehmigungen (Befreiung von der Pflicht zur getrennten Sammlung und Verwertung von Bioabfällen) als Mischmüllkompost gemäß ÖNORM S 2022 der stofflichen Verwertung zugeführt. Auch der mechanisch-biologisch vorbehandelte Restabfall aus Kirchdorf wurde bis Ende 1997 in Aich/Assach einer biologischen und mechanischen Nachbehandlung unterzogen. Wie bereits in Kapitel 2.3.5 erläutert, ist unter dem Vorbehalt einer sinnvollen Gestaltung der Kompostverordnung davon auszugehen, daß die Verwertung der Mischmüllkomposte in Österreich künftig keine nennenswerte Rolle mehr spielen wird.

Ab dem Jahr 2004 dürfen die nicht verwertbaren festen Reststoffe aus der MBR in getrennten Kompartimenten von Massenabfalldeponien gemäß DVO abgelagert werden, wenn die Grenzwerte im Anlage 1, Tabelle 7 (Schadstoffgesamtgehalte) und Tabelle 8 (Schadstoffgehalte im Eluat) eingehalten werden. Außerdem darf der obere Heizwert maximal 6.000 kJ/kg TS betragen. Mittels Untersuchungen von repräsentativen Rottegutproben aus 10 der 14 MBRA sollte geklärt werden, welche Anforderungen der DVO bereits eingehalten werden. Nicht untersucht wurde das Rottegut aus den Anlagen in Breitenau und Aich/Assach, deren Rottegut derzeit noch verwertet wird und aus der MBRA Traiskirchen, die schon im Herbst 1996 stillgelegt war. Die Anlage in Zell am See befand sich im Winter 96/97 im Probetrieb, so daß noch keine Probenahme möglich war. Zum H_o wurden von der Betriebsleitung Meßwerte zur Verfügung gestellt und inzwischen auch eigene Analysen durchgeführt. Diese Daten sind bei der folgenden Auswertung berücksichtigt worden.

4.6.2 Schadstoffgehalte

Die Analyseergebnisse für die untersuchten MBRA werden in den Tabellen 4.8 bis 4.10 den Grenzwerten der DVO gegenübergestellt.



Tabelle 4.8: Anorganische Schadstoffgesamtgehalte im Rottegut der MBRA und Grenzwerte der Deponieverordnung

MBRA	Anorganische Schadstoffgesamtgehalte gemäß DVO für Massenabfalldeponien [mg/kg TS]										
	As	Ba	Pb	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Hg	Ag	Zn
Oberpullend.	8,8	507	224	3,6	285	12	306	253	2,1	4,4	990
Fischamend	5,2	464	268	0,66	112	4,8	161	84	< 0,1	2,0	339
Pöchlarn	9,7	980	289	2,1	278	15	278	133	1,2	3,9	762
Gerling	1,5	1.461	357	2,7	215	4,5	247	200	1,0	1,3	904
Kirchdorf	10	2.046	273	3,8	344	32	500	243	2,6	9,7	973
Ort i. Innkreis	2,6	1.456	197	3,8	206	4,5	277	141	1,5	5,7	878
Siggerwiesen	3,6	142	64	1,0	49	2,8	208	18	4,1	59	398
Roppen	7,1	249	98	1,4	103	25	218	90	0,99	3,5	489
Allerheiligen	1,3	1.483	177	2,6	292	16	447	188	1,1	4,4	769
Frojach/K.	9,2	1.060	963	6,1	209	16	227	149	1,1	2,5	235
Minimum	1,3	142	64	0,66	49	2,8	161	18	< 0,1	1,3	235
Maximum	10	2.046	963	6,1	344	32	500	253	4,1	59	990
Mittelwerte	5,9	985	291	2,8	209	13	287	150	1,6	9,6	674
Grenzwerte	500	10.000	3.000	30	5.000	500	5.000	2.000	20	50	5.000
GWA¹⁾ [%]	1,2	9,9	9,7	9,3	4,2	2,6	5,7	7,5	8,0	19	13

1) GWA: mittlere Grenzwertausschöpfung

In Tabelle 4.8 ist die Schwermetallbelastung des Rottegutes dargestellt. Für die MBRA in Siggerwiesen wurde eine Grenzwertüberschreitung von 18 % für Silber ermittelt. Inzwischen liegen weitere Meßreihen vor, bei denen im Vergleich zu den anderen MBRA erhöhte Silberwerte ermittelt wurden, der Grenzwert wurde aber sicher unterschritten. Alle anderen Schwermetallgehalte liegen weit unterhalb der Grenzwerte der DVO. Bezogen auf die mittlere spezifische Schwermetallbelastung liegt die Ausschöpfungsrate der Grenzwerte zwischen 1,2 % für Arsen und 19,2 % für Silber.

Tabelle 4.9: Organische Schadstoffgesamtgehalte im Rottegut der MBRA und Grenzwerte der Deponieverordnung

MBRA	Organische Schadstoffgesamtgehalte gemäß DVO für Massenabfalldeponien [mg/kg TS außer GWA]		
	Summe KW	POX	PAK
Oberpullendorf	8.864	0,052	2,8
Fischamend	3.937	< 0,001	2,0

Pöchlarn	7.957	0,105	3,8
Gerling	2.235	0,003	0,64
Kirchdorf	3.039	0,193	6,8
Ort im Innkreis	1.694	0,033	1,8
Siggerwiesen	3.797	0,003	1,8
Allerheiligen	6.065	0,002	9,4
Frojach/Katsch	710	6,1	1,1
Roppen	3.238	1,0	1,0
Minimum	710	< 0,001	0,64
Maximum	8.864	6,1	9,4
Mittelwerte	4.154	0,7	3,1
Grenzwerte	20.000	1.000	100
GWA¹⁾ [%]	21	0,070	3,1

1) GWA: mittlere Grenzwertausschöpfung

Die organische Schadstoffbelastung des Rottegutes aus den MBRA ist in Tabelle 4.9 zusammengestellt. Für die MBRA in Pöchlarn und Oberpullendorf wurden mit fast 8 - 9 g/kg TS relativ hohe Werte für die Summe der Kohlenwasserstoffe ermittelt, aber auch diese Werte liegen noch weit unterhalb des Grenzwertes von 20 g/kg TS. Bezogen auf die mittlere spezifische organische Schadstoffbelastung liegt die Ausschöpfungsrate der Grenzwerte zwischen 0,07 % für die ausblasbaren organischen Halogenverbindungen (POX) und 21 % für die Summe der Kohlenwasserstoffe. Die geringen POX-Werte auch bei Proben, die relativ hohe KW und PAK-Werte aufweisen, lassen sich durch die annähernd vollständige Emission dieser Verbindungen bei der zwangsbelüfteten biologischen Behandlung erklären. Lediglich für die MBRA Frojach/Katsch wurde ein erhöhter POX-Wert von 6,1 mg/kg TS ermittelt, der die schlechte Belüftung des Materials widerspiegelt (nur 2-maliges Umsetzen per Radlader in den ersten 12 Wochen).

Tabelle 4.10: Schadstoffgehalte im Eluat für das Rottegut der MBRA und Grenzwerte der Deponieverordnung

MBRA	Eluatwerte nach DVO für Massenabfalldeponien [mg/kg TS außer pH-Wert und GWA]								
	pH	ADRS ¹⁾	Cr (VI)	NH ₄	NO ₂	CN	F	SO ₄	EOX
Oberpullendorf	7,1	39.100	< 0,05	55	< 0,1	< 0,01	< 0,5	7.120	0,89
Fischamend	7,1	47.700	< 0,05	451	0,5	0,05	118	9.472	0,73
Pöchlarn	7,3	70.120	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,5	3.220	0,93

Gerling	7,5	53.900	< 0,05	87	0,11	0,02	< 0,5	10.600	0,73
Kirchdorf	7,1	35.700	< 0,05	4,1	< 0,1	< 0,01	< 0,5	6.870	0,96
Ort im Innkreis	7,8	76.900	< 0,05	70	5,4	0,02	< 0,5	12.136	0,49
Siggerwiesen	7,2	84.400	< 0,05	995	0,80	0,02	< 0,5	6.640	0,98
Allerheiligen	6,8	31.400	< 0,05	856	0,05	< 0,01	< 0,5	11.990	6,2
Frojach/Katsch	8,1	25.380	< 0,05	3,9	3,9	< 0,01	< 0,5	5.810	0,85
Roppen	7,0	62.500	17	716	< 0,1	0,14	< 0,5	3.403	0,90
Minimum	6,8	25.380	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,01	< 0,5	3.220	0,49
Maximum	8,1	84.400	17	995	5,4	0,14	118	12.136	6,2
Mittelwerte	7,3	52.710	2,1	324	1,1	0,030	12	7.726	1,4
Grenzwerte	6-13	100.000	20	10.000	1.000	20	500	25.000	30
GWA [%]	-	53	10	3,2	0,1	0,2	2,4	31	4,7

1) ADRS: Abdampfrückstand;

2) GWA: mittlere Grenzwertausschöpfung

In Tabelle 4.10 sind die Schadstoffgehalte im Eluat des Rottegutes der österreichischen MBRA zusammengestellt. Bei diesen Untersuchungen konnten keinerlei Grenzwertüberschreitungen festgestellt werden. Für die MBRA Siggerwiesen, Ort im Innkreis und Pöchlarn wurden relativ hohe Abdampfrückstände gemessen und der Grenzwert zu 70 bis 84 % ausgeschöpft. Für die Betriebsanlage in Roppen wurde ein im Vergleich zu den übrigen MBRA sehr hoher Gehalt an Chrom (VI) von 17 mg/kg TS ermittelt, dies entspricht 85 % des Grenzwertes. Die anderen gemessenen Eluatwerte liegen weit bis sehr weit unterhalb der Grenzwerte gemäß Deponieverordnung. Bezogen auf die Mittelwerte liegt die Spanne für die Ausschöpfungsrate der Grenzwerte zwischen 0,1 % für Nitrit und 53 % für den Abdampfrückstand.

Die gemäß DVO ab dem Jahr 2004 einzuhaltenden Grenzwerte für die Schadstoffgesamtgehalte und die Schadstoffgehalte im Eluat können von den österreichischen MBRA bereits heute sicher unterschritten werden. Dies kann auch durch andere aktuelle Untersuchungen zu österreichischen MBRA, z.B. [29] belegt werden. Ähnliche Ergebnisse wurden bei eigenen Analysen von Rottegut aus einer deutschen und einer schweizer MBRA (Quarzbühl und Schaffhausen) ermittelt.

4.6.3 Oberer Heizwert

Da die Schadstoffgrenzwerte der DVO problemlos eingehalten werden können, ist die Unterschreitung des Ho von 6.000 kJ/kg TS die (derzeit) entscheidende Anforderung für die Deponierbarkeit der mechanisch-biologisch behandelten Restabfälle ab dem 1.1.2004. Von

den österreichischen Betriebsanlagen zur MBR ist derzeit noch keine in der Lage, den Grenzwert für den H_o sicher im Regelbetrieb einzuhalten.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß derzeit noch keine der untersuchten österreichischen MBRA mit der Zielsetzung einer weitgehenden Minimierung des oberen Heizwertes betrieben wird. Die einzelnen MBRA weisen hinsichtlich der behandelten Restabfälle (kommunaler Restmüll, Sperrmüll, Gewerbeabfälle und Klärschlamm) sowie der verwendeten Apparate- und Verfahrenstechnik bei der mechanischen bzw. biologischen Behandlung erhebliche Unterschiede auf. So werden beispielsweise Siebschritte zur Abtrennung von heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien zwischen 25 mm und 100 mm verwendet. In einigen Fällen wird darauf derzeit ganz verzichtet (z.B. MBRA Siggerwiesen und Fischamend). Auch die Betriebsweise der biologischen Stufen orientiert sich in vielen Fällen primär an betriebswirtschaftlichen Kenngrößen als am Ziel, einen möglichst hohen Abbaugrad zu erreichen.

In Abbildung 4.2 sind Beispiele eigener und die in der Literatur verfügbaren Meßwerte für den oberen Heizwert von unbehandelten und mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen in Abhängigkeit von der biologischen Behandlungsdauer dargestellt. Insgesamt sind 67 Messungen an Betriebsanlagen zur MBR oder im Rahmen von großtechnischen Modellversuchen, vorwiegend in Österreich aber auch in Deutschland und der Schweiz, ausgewertet worden. Die tabellarische Aufstellung der Analyseergebnisse mit spezifischen Angaben zur jeweiligen MBR kann den Tabellen C1 bis C3 im Anhang entnommen werden. Der Korrelationskoeffizient der Ausgleichskurve von 0,63 dokumentiert, daß es sich um eine (eher) qualitative Darstellung handelt. Für die Unterschreitung des Grenzwertes von 6.000 kJ/kg TS ist nach dieser Darstellung eine biologische Behandlungsdauer von mindestens 26 Wochen erforderlich. Werden biologisch leistungsstarke Anlagenkonfigurationen wie beispielsweise in Zell am See zur MBR eingesetzt und Siebschnitte < 20 mm verwendet, so ist davon auszugehen, daß bei optimierter Betriebsweise der H_o -Grenzwert nach 12 bis 16 Wochen eingehalten werden kann. Obere Heizwerte < 3.000 kJ/kg TS sind im Gegensatz zur Darstellung in Abbildung 4.2 auch nach 50 bis 60 Wochen Rotte i.d.R. nicht zu erreichen.

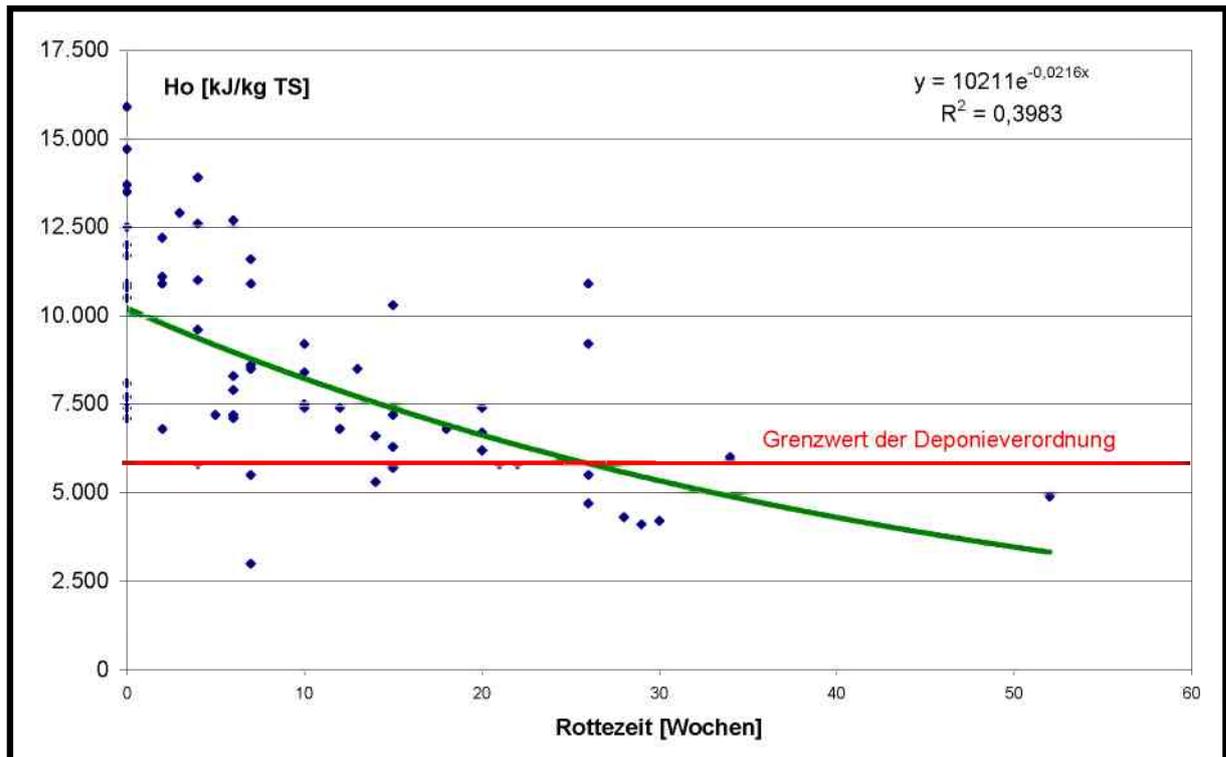


Abbildung 4.2: Verringerung des oberen Heizwertes im Rottegut der MBR mit zunehmender Behandlungsdauer

4.7 Gasförmige Emissionen

Die Maßnahmen zur Minimierung der gasförmigen Emissionen sind für die österreichischen MBRA in Tabelle 4.11 zusammengestellt. Auch hier sind große Unterschiede im Standard der Ausstattung für die einzelnen Betriebsanlagen festzustellen. Eine vollständige Erfassung und Reinigung der Abluft wird in den MBRA Oberpullendorf, Gerling, Siggerwiesen, Zell am See, Allerheiligen und Roppen angestrebt. In diesen Fällen werden Biofilter zur Abluftreinigung eingesetzt, wobei die Vermeidung von Geruchsemissionen im Vordergrund steht. Bei den übrigen MBRA wird die Abluft nur teilweise gezielt erfaßt.

Zur Schadstoffbelastung der Abluft aus den österreichischen MBRA liegen mit Ausnahme von Geruchsmessungen (olfaktometrischer Untersuchungen, TOC-Messungen) insbesondere zu den MBRA Siggerwiesen, Roppen, Oberpullendorf derzeit kaum belastbare Daten vor. An der MBRA in Siggerwiesen wurden 1996 Versuche zur Abluftreinigung mittels Kombination von Biowäsche und Biofiltration durchgeführt [53]. Um die vorhandenen Informationslücken zu schließen werden derzeit vom Umweltbundesamt Wien Abluftmessungen an den Betriebsanlagen durchgeführt.

Tabelle 4.11: Maßnahmen zur Minimierung von gasförmigen Emissionen in den österreichischen MBRA

MBRA	Maßnahmen zur Minimierung gasförmiger Emissionen
Oberpullendorf	Bunkerbereich, mechanische Vorbehandlung und Hauptrotte in geschlossenen Hallen sowie Reinigung der Abluft über Biofilter
Breitenau	Annahme der Restabfälle und mechanische Vorbehandlung in geschlossener Halle
Fischamend	Annahme, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in einer offenen Halle
Pöchlarn	Bunkerbereich, mechanische Vorbehandlung und Danotrommel in geschlossener Halle sowie Reinigung der Abluft über Biofilter
Traiskirchen	Bunkerbereich, mechanische Vorbehandlung und Danotrommel in geschlossener Halle sowie Reinigung der Abluft über Biofilter
Gerling	Annahme, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in einer geschlossenen Halle sowie Reinigung der Abluft über Biofilter
Kirchdorf	Annahme, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in einer halb-offenen Halle
Ort im Innkreis	Bunkerbereich, mechanische Vorbehandlung und Danotrommel in geschlossener Halle
Siggerwiesen	Bunkerbereich, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in geschlossenen Hallen sowie Reinigung der Abluft nach Partikelabscheider und Kondensator über Biofilter; Reinigung der Bunkerluft mittels Staubfilter, Wäscher und Biofilter
Zell am See	Bunkerbereich, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in geschlossenen Hallen sowie Reinigung der Abluft mittels Wäscher und Biofilter
Aich/Assach	Annahme, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in einer halb-offenen Halle sowie Reinigung der Abluft mittels Rotte-Filter-Verfahren
Allerheiligen	Annahme, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in einer geschlossenen Halle sowie Reinigung der Abluft mittels Biofilter; Reinigung der Bunkerabluft mittels Staubfilter
Frojach/Katsch	Annahme, mechanische Vorbehandlung und Hauptrotte in einer halboffenen Halle
Roppen	Annahme, mechanische Vorbehandlung und biologische Behandlung in einer geschlossenen Halle sowie Reinigung der Abluft mittels Biofilter

Wie bereits in Kapitel 4.6 erläutert, lassen die sehr geringen POX-Werte im Rottegut darauf schließen, daß die flüchtigen organischen Verbindungen, insbesondere bei einer optimierten Intensivrotte, über den Abluftstrom weitgehend ausgezogen werden. Deshalb sind insbesondere in den ersten beiden Wochen hohe organische Schadstoffbelastungen im Rohgas zu erwarten.

Dies wird auch durch verschiedene Untersuchungen an Versuchsanlagen in Deutschland bestätigt und hier die Ablufferfassung und Reinigung für die ersten 14 Rottetage, zumindest aber für die ersten 7 Tage, als zwingend erforderlich betrachtet. Für die Beurteilung der gemessenen Rohgasbelastung wurden die Grenzwerte für Massenströme und Konzentrationen der TA Luft herangezogen, die für die einzelnen organischen und

anorganischen Verbindungen ausnahmslos unterschritten wurden. Für die Summe organischer Stoffe nach Anhang E der TA Luft liegt die mittlere Ausschöpfung des Massenstrom-Grenzwertes für eine MBRA mit einer Jahreskapazität von 100.000 Mg bei 90 % im Rohgas. Wird ein zweistufiges Filtersystem, bestehend aus Biofilter und Biowäscher eingesetzt, kann ein Filterwirkung von 90 % angenommen werden, so daß die Ausschöpfung des Grenzwertes bei nur 9 % liegt [54].

Zu diesen Emissionsmessungen aus Deutschland ist zu bemerken, daß diese Untersuchungen fast ausschließlich an Versuchsanlagen zur MBR ermittelt wurden und auch hier die Datenbasis für großtechnische Anlagen sehr dünn ist. Bisher liegen nur aussagekräftige Abluftmessungen für die MBRA Lüneburg vor.

Die Ergebnisse belegen, daß die Rohgasfrachten wesentlich geringer sind als erwartet. So wurden für die Parameter Ethylbenzol, Xylol, Toluol und Benzol nur 3 bis 11 % der von Fricke für die obige Bewertung verwendeten Rohgasfrachten erreicht. Sollten sich diese Ergebnisse durch die geplanten Messungen an anderen Betriebsanlagen bestätigen, so ist davon auszugehen, daß auch mit optimierten einstufigen Flächenbiofiltern eine ausreichende Abluftreinigung gemäß TA-Luft realisiert werden kann. Die in der Fachliteratur oftmals angeführten Reinigungsgrade > 90 % für die Summe org. C konnten für die MBRA Lüneburg aber bisher nicht nachgewiesen werden. Der ermittelte durchschnittliche Reinigungsgrad lag bei lediglich 60 %, so daß hier Optimierungsmaßnahmen notwendig sind [54].

Die bisher ergriffenen Maßnahmen auf der Abluftseite bei den Betriebsanlagen in Österreich sind primär auf die Vermeidung von Geruchsemissionen ausgerichtet. Zu diesem Zweck werden in der Regel Biofilter eingesetzt, die bei optimierter Betriebsweise zu einer Verminderung der Geruchsfracht zwischen 95 und 99 % führen.

Dies kann durch verschiedene Untersuchungen, z.B. [54] belegt werden. In Siggerwiesen, der größten MBRA Österreichs, wird die Bunkerabluft (bis zu 100.000 m³/h) nach der Entstaubung in einem Wäscher angefeuchtet und einem Biofilter zugeführt. Auf diese Weise wird der Biofilter ausreichend mit Feuchtigkeit versorgt. Die Abluft aus der Rottehalle (35.000 m³/h, ca. 80.000 bis 100.000 GE/m³ in der Rohabluft) gelangt nach einem Partikelabscheider in einen Gegenstrom-Wärmetauscher, wobei die Geruchsfracht um ca. 50 % reduziert wird. Nach dem folgenden Biofilter verbleiben etwa 300 bis 500 GE/m³ in der Abluft.

Für die Abluftseite stellt die TA-Luft auch für Österreich eine sinnvolle Beurteilungsgrundlage dar, da eine einheitliche rechtliche Definition des Standes der Technik im Bereich der Abluftreinigung aus MBRA bisher fehlt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die MBRA, die über leistungsfähige Rotteeinheiten verfügen, bereits mit Biofiltern ausgestattet sind. Außerdem gibt es Österreich derzeit nur die MBRA in Salzburg-Siggerwiesen, die eine Gesamtkapazität von mehr als 100.000 Mg/a hat. Alle anderen Betriebsanlagen verarbeiten

maximal 40.000 Mg/a. Die Frage, ob einstufige technische Biofilteranlagen zur Abluftreinigung ausreichen oder beispielsweise Biowäscher nachzurüsten sind, wird man erst nach Abschluß der laufenden Untersuchungen an den österreichischen MBRA beantworten können.

4.8 Sonstige Emissionen

Hier sind die Bereiche Abwasser, Staub und Lärm zu nennen.

Die eingehausten MBRA in Österreich sind alle mit aeroben biologischen Behandlungsstufen ausgestattet und können im Fall der Rückverregnung der Prozeßwässer abwasserfrei betrieben werden. Dies gilt auch für die MBRA der Stadt Salzburg (Siggerwiesen), in der größere Mengen Klärschlamm und flüssige organische Restabfälle mitbehandelt werden. Das in Siggerwiesen anfallende Kondensat der Wärmetauscher vor dem Biofilter kann prinzipiell in die biologische Stufe zurückgeführt werden; derzeit wird es aber gemeinsam mit dem Sickerwasser von der Rotteplatte in der benachbarten Kläranlage der Stadt gereinigt.

Aufgrund der negativen Wasserbilanz der aeroben MBR können über die biologischen Stufen der Betriebsanlagen auch Abwässer, beispielsweise aus anderen Betriebseinrichtungen, entsorgt werden. In diesem Zusammenhang wird der Einsatz von Deponiesickerwässer zur Einstellung des Wassergehaltes für die biologische Behandlung diskutiert und in Pilotprojekten getestet [42].

Staubemissionen können beim Antransport der Restabfälle, im Bunkerbereich, bei der mechanischen Aufbereitung der Restabfälle vor und nach der Rotte, der biologischen Behandlung sowie dem Verladen und Transport der behandelten Reststoffe entstehen. Als Beispiele sinnvoller Maßnahmen zur Minimierung von Staubemissionen können die geschlossene Ausführung der gesamten Anlage, gezielte Absaugung sämtlicher größerer Behandlungsaggregate, geschlossene Ausführung der Transportbänder sowie Einstellung und Beibehaltung von Wassergehalten > 35 % bei der biologischen Behandlung angeführt werden. Durch diese Minderungsmaßnahmen kann auch die Keimbelastung wesentlich gesenkt werden und somit dem Arbeitnehmerschutz Rechnung getragen werden.

Der Ausstattungsstandard hinsichtlich der Vermeidung von Staubemissionen bzw. Abluftentstaubung ist bei den österreichischen MBRA sehr unterschiedlich. So wurden beispielsweise die MBRA Siggerwiesen, Allerheiligen und Zell am See in den letzten Jahren modernisiert und dabei die genannten emissionsmindernde Maßnahmen weitgehend umgesetzt. Es existieren Gewebefilter zur Reinigung der Abluft aus der Abfallübernahme und

mechanischen Aufbereitung. Insbesondere bei einigen kleineren Anlagen zur MBR sind hier durchaus Verbesserungen angebracht.

MBRA in denen künftig eine Abtrennung der heizwertreichen Anteile nach der biologischen Behandlung vorgenommen werden soll, werden die letzte Phase der Biologie zur Trocknung des Materials zumindest auf 65 bis 70 % TS nutzen, um eine effektive Absiebung zu ermöglichen. Trockensubstanzgehalte über 70 % führen in der Regel zu einer hohen Staubentwicklung bei der Absiebung oder Hartstoffabscheidung und erfordern gekapselte Aggregate.

Wesentliche Belastungen durch Lärmemissionen können im Umfeld der Anlage bei An- und Abtransport der Restabfälle bzw. Reststoffe und in der Anlage insbesondere bei der mechanischen Aufbereitung entstehen. Die Transportemissionen sind bei den österreichischen MBRA aufgrund der geringen Größe oder peripheren Lage relativ unproblematisch. Die stärksten Lärmemissionen innerhalb der Anlage entstehen durch schnellaufende Zerkleinerungsaggregate, die zur Schalldämmung gekapselt ausgeführt sind.

5 Fallbeispiel: Mürzverband

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen werden weitergehende Untersuchungen vorwiegend am Beispiel der modernisierten MBRA des Mürzverbandes in Allerheiligen durchgeführt, die sich insbesondere aus folgenden Gründen dafür anbietet:

Der Mürzverband entsorgt den gesamten kommunalen Restmüll aus dem, zu etwa gleichen Teilen städtisch und ländlich strukturierten, Einzugsgebiet mit ca. 110.000 Einwohnern in der MBRA Allerheiligen. Größe und Struktur des Abfallwirtschaftsverbandes entsprechen in etwa dem österreichischen Durchschnitt und die abfallwirtschaftlichen Maßnahmen zur Getrenntsammlung von Alt- und Problemstoffen sind praktisch abgeschlossen, so daß künftig keine wesentlichen Änderungen in der Zusammensetzung des Restmülls zu erwarten sind. Wie in den meisten österreichischen MBRA wird in Allerheiligen kommunaler Klärschlamm mitbehandelt. Die MBRA Allerheiligen hat im Frühjahr 1996 den Regelbetrieb aufgenommen und war zu diesem Zeitpunkt die einzige Betriebsanlage in Österreich, deren Konzeption im wesentlichen den Anforderungen der Deponieverordnung entsprach. Somit war es möglich, Versuche zur Leistungsfähigkeit im Praxismaßstab durchzuführen.

Die wesentlichen abfallwirtschaftlichen Charakteristika des Mürzverbandes wie Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur, anfallende Abfallmengen und Verfahrenskonzeption der MBRA Allerheiligen werden im folgenden kurz erläutert. Ausführlichere Darstellungen zu diesen Punkten können den Arbeiten [42, 55, 56] entnommen werden.

5.1 Einzugsgebiet, Bevölkerungs- und Wirtschaftsstruktur

Das Einzugsgebiet der MBRA Allerheiligen besteht aus den beiden politischen Bezirken Bruck an der Mur und Mürzzuschlag in der östlichen Obersteiermark, die zum Abfallwirtschaftsverband "Mürzverband" zusammengeschlossen sind. Mit Ausnahme der Gemeinde Mariazell (2.000 EW.), die eine eigene Deponie betreibt, wird der gesamte Restabfall der privaten Haushalten und teilweise der hausmüllähnliche Gewerbeabfall aus 36 Gemeinden (ca. 110.000 EW) über die Restmülltonne erfaßt und in der Anlage entsorgt. Außerdem wird der entwässerte Klärschlamm (ca. 30 % TS) aus den 4 verbandseigenen kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) mitbehandelt.

In Abbildung 5.1 sind die 37 Gemeinden der Bezirke Bruck an der Mur und Mürzzuschlag dargestellt. Die amtliche Katasterfläche des Mürzverbandes beläuft sich auf ca. 2.150 km² bei einer Fläche des Dauersiedlungsraumes von etwa 340 km², was einem Anteil von 15,8 % entspricht. Mit einer Einwohnerzahl gemäß Volkszählung 1991 von 112.536 und einer Einwohnerdichte von 52 Personen pro km² Katasterfläche ist das gebirgige Gebiet relativ dünn besiedelt [57].



Abbildung 5.1: Die Gemeinden der Bezirke Bruck an der Mur und Mürzzuschlag

Etwa die Hälfte der Bevölkerung lebt in einer der 5 größten Stadt- bzw. Marktgemeinden (Kapfenberg, Bruck an der Mur, Mürzzuschlag, Kindberg und Krieglach), deren Einwohnerzahlen zwischen 5.116 (Krieglach) und 23.380 (Kapfenberg) liegen. Das übrige Einzugsgebiet der MBRA Allerheiligen ist ländlich strukturiert.

Die Wirtschaftsstruktur wurde bis Ende der 70er Jahre fast ausschließlich von der Grundstoffindustrie dominiert. Aber auch nach dem Schrumpfungsprozeß in den 80er und 90er Jahren hat dieser Industriezweig noch eine große wirtschaftliche Bedeutung für die Region. Nahezu die Hälfte der Erwerbstätigen (49,4 %) können inzwischen dem tertiären Wirtschaftssektor (Dienstleistungsbereich) zugeordnet werden können, während im produzierenden Gewerbe (einschließlich Industrie, Bauwesen, Bergbau) insgesamt 45,6 % tätig sind. Im primären Wirtschaftssektor, der Land- und Forstwirtschaft, sind nur 5 % aller Berufstätigen, die im Bereich des Mürzverbandes wohnen, beschäftigt [58].

5.2 Abfallarten und -mengen

Die Gesamtjahresmenge an Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen im Mürzverband betrug im Jahr 1996 rund 30.200 Mg/a [59]. Das Pro-Kopf-Aufkommen belief sich auf 273 kg/EW*a. Analog zu der Darstellungsweise des Abfallaufkommens auf Bundes- und Landesebene ist in diesen Angaben der Sperrmüll enthalten, nicht aber Straßenkehricht (1.321 Mg) und der Klärschlamm (5.920 Mg). Die Zusammensetzung der Haushaltsabfälle geht aus Tabelle 5.1 und Abbildung 5.2 hervor. Den massenmäßig größten Anteil an den Haushaltsabfällen machen Altstoffe bzw. Restmüll aus, die jeweils gut ein Drittel der Gesamtmenge betragen. Das einwohnerspezifische Aufkommen beläuft sich in beiden Fällen auf ca. 100 bzw. 95 kg/EW*a. Die drittgrößte Abfallkategorie sind die biogenen Abfälle mit 16 M-% oder 44 kg/EW*a.

Tabelle 5.1: Abfallaufkommen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen im Mürzverband für das Jahr 1996 [nach 59]

Mürzverband			
	[Mg/a]	[kg/EW*a]	(in M-%)
Restmüll	10.478	94,8	34,7 %
Sperrmüll	3.520	31,8	11,7 %
biogene Abfälle	4.912	44,4	16,3 %
Altstoffe	10.994	99,4	36,3 %
Problemstoffe	292	2,6	1,0 %
Σ Jahresaufkommen	30.196	273,0	100 %

Aufgrund des Landesabfallgesetzes der Steiermark ist die Verwertung von biogenen Abfällen bereits seit 31. Dezember 1992 vorgeschrieben. An die Bioabfallsammlung sind ca. 50,4 % der Haushalte bzw. 47,4 % der Einwohner angeschlossen, was hinsichtlich der tatsächlich angeschlossenen Einwohner einem Pro-Kopf-Aufkommen von 93,7 kg/EW*a an biogenen Abfällen entspricht. In den Stadtgemeinden liegt der Anschlußgrad bei rund 75 %. Die Bevölkerung der ländlichen Gemeinden hat aufgrund der besseren Möglichkeiten zur Einzel- oder auch Gemeinschaftskompostierung einen weitaus geringeren Anschlußgrad von etwa 20 % [58].

Das Restmüllaufkommen im Mürzverband ist in den letzten Jahren massenmäßig stark rückläufig. Die jährlich anfallende Restmüllmenge ist von 17.415 Mg (157,5 kg/EW*a) im Jahre 1991 auf 10.478 Mg (94,8 kg/EW*a) 1996 gesunken, was einer Abnahme von rund 39 % entspricht. Der Rückgang des Restmüllaufkommens ist durch die forcierte flächen-deckende Getrenntsammlung von Altstoffen sowie durch die Einführung der Biotonne Anfang der 90er Jahre begründet. Seit 1994 stagniert das Aufkommen; 1996 ist ein

(vernachlässigbarer) leichter Anstieg von 1 % gegenüber dem Vorjahr zu verzeichnen.

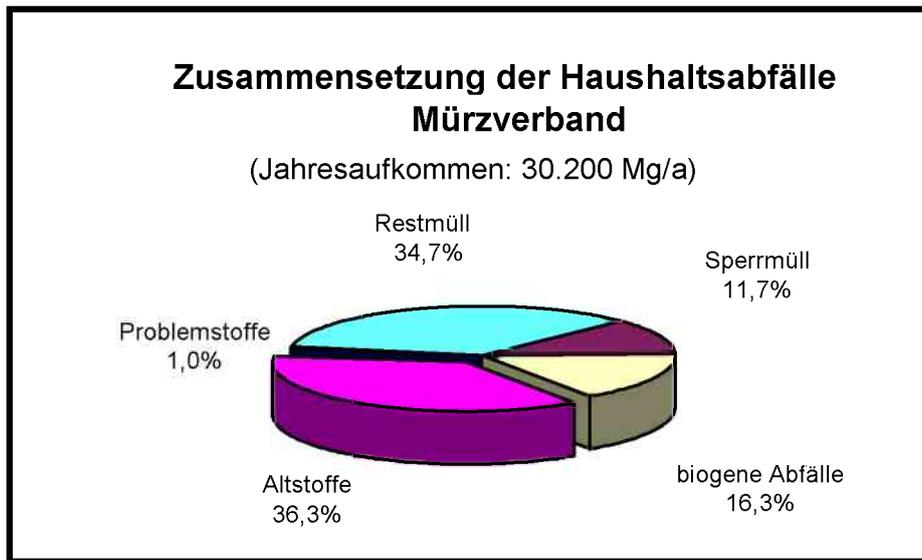


Abbildung 5.2 Abfallaufkommen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen im Mürzverband für das Jahr 1996 in Massenprozent [nach 59]

Die Restabfallmengen der zurückliegenden sechs Jahre, einschließlich des einwohner-spezifischen Aufkommens, sind in Abbildung 5.3 graphisch dargestellt.

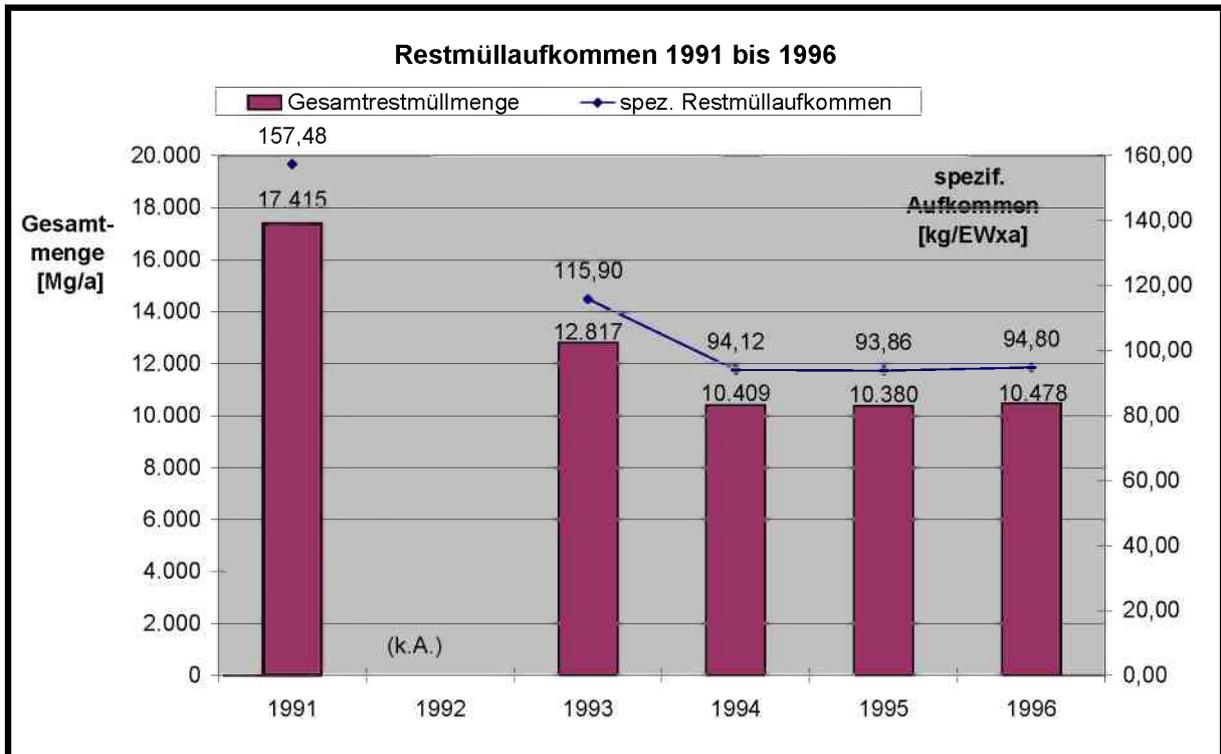


Abbildung 5.3: Die Restmüllanlieferungen der kommunalen Müllabfuhr im Mürzverband der Jahre 1991 bis 1996 [nach 59]

In Abbildung 5.3 nicht enthalten ist das Jahr 1992, da hierzu kein verlässliches Datenmaterial

existiert. Bei den vorliegenden dokumentierten Restmüllmengen handelt es sich zum weitaus größten Teil um Restmüll aus den 43.617 privaten Haushalten im Einzugsbereich der MBRA. Darüber hinaus entsorgen jedoch auch zahlreiche kleinere Gewerbebetriebe und öffentliche Einrichtungen über die kommunale Müllabfuhr.

Die Organisation der Abfuhr von Restmüll, Altstoffen und sonstigen Haushaltsabfällen im Untersuchungsgebiet gestaltet sich aufgrund des kleinräumig strukturierten Gebietes mit 36 Gemeinden von 170 bis 23.400 Einwohnern sehr vielfältig. Von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich sind auch die Abfuhrintervalle, die zwei, drei, vier und sogar sechs Wochen betragen können, wobei der vierwöchige Rhythmus mit Abstand dominiert (25 Gemeinden). Manche Gemeinden (z. B. Aflenz Kurort, Bruck a. d. Mur) bieten wahlweise die Möglichkeit einer zwei- oder vierwöchigen Restmüllabfuhr; die Mülltonnen sind dann durch eine unterschiedliche Deckelfarbe kenntlich gemacht.

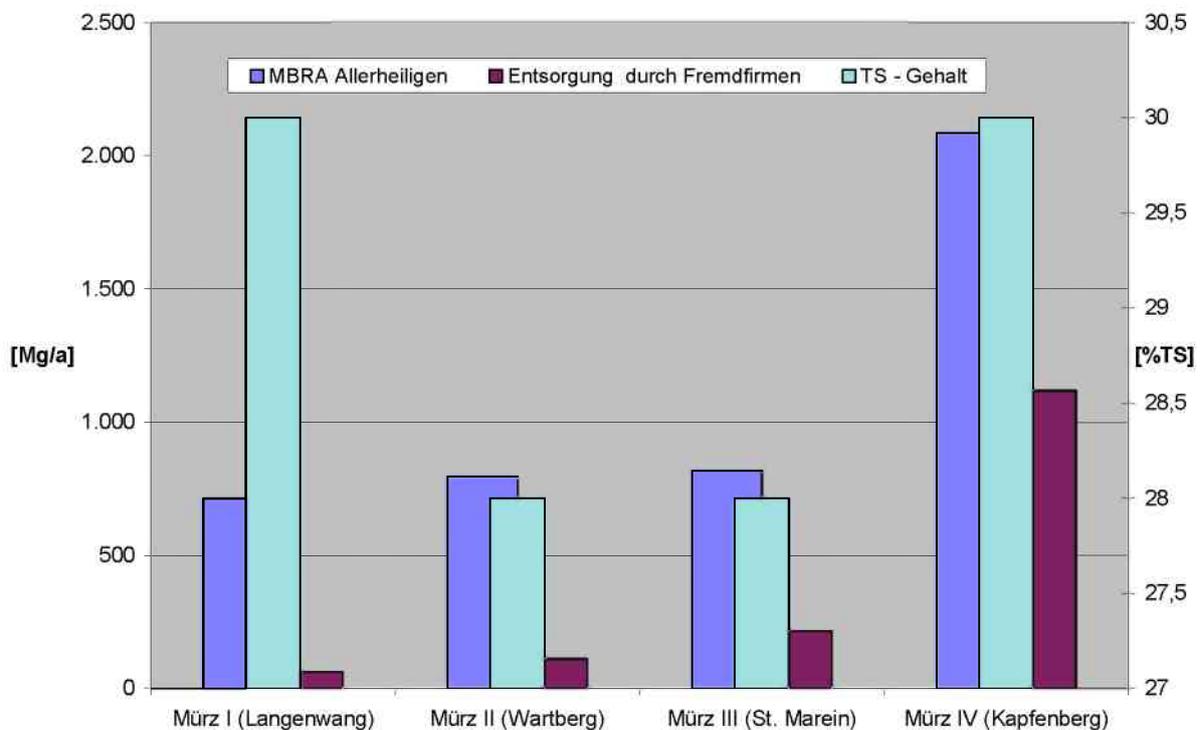


Abbildung 5.4: TS-Gehalte und Entsorgungswege für die entwässerten Klärschlämme des Mürzverbandes im Jahr 1996 [nach 59]

Der Mürzverband betreibt 4 ARA (Langenwang, Wartberg, St. Marein und Kapfenberg) mit einer Gesamtjahreskapazität von 96.000 EGW₆₀ bezogen auf das Jahr 1996. Derzeit werden die ARA an die Anforderungen der Wasserrechtsnovelle 1990 (Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphatelimination) angepaßt, mit Faultürmen zur anaeroben Schlamm-stabilisierung ausgestattet und auf eine Gesamtkapazität von 129.000 EGW₆₀ erweitert. Aus Abbildung 5.4 kann entnommen werden, daß 1996 rund 4.400 Mg (74 %) in der MBRA Allerheiligen

behandelt wurden und etwa 1.500 Mg (26 %) über Fremdfirmen entsorgt worden sind. Durch die Einführung der anaeroben Stabilisierung der Klärschlämme und den prognostizierten Bevölkerungsrückgang ist davon auszugehen, daß die Klärschlammmenge, trotz des Ausbaus der Gesamtkapazität nicht ansteigen wird und auch künftig bei etwa 6.000 Mg (30 % TS) liegen wird.

5.3 Mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlage (MBRA) am Standort Allerheiligen

Bereits 1979 hat die ehemalige Müll-Klärschlamm-Kompostierungsanlage mit angeschlossener Deponie den Betrieb aufgenommen. Das etwa 13 ha umfassende Betriebsareal liegt zentral und verkehrsgünstig inmitten des 2.150 km² großen Einzugsgebietes. Zunächst wurden in der Anlage die kommunalen und gewerblichen nicht gefährlichen Abfälle des Mürzverbandes zusammen mit dem in den verbandseigenen Kläranlagen anfallenden Klärschlamm und Rechengut behandelt. 1992 kam eine zweite Verfahrenslinie für biogene Abfälle, die als Silokompostierung ausgeführt war, hinzu. Erhebliche Mängeln an dieser Anlage führten zu massiven Geruchsbelastigungen und schließlich zu einer grundlegenden Sanierung des gesamten Anlagenbestandes. Die modernisierte Abfallbehandlungsanlage hat im Frühjahr 1996 den Betrieb aufgenommen, besitzt eine Gesamtkapazität von 23.600 Mg/a (genehmigt sind 19.900 Mg/a) und ist in die folgenden 2 Bereiche untergliedert:

- **Verarbeitungslinie I:**

Kompostierung biogener Abfälle (Bioabfall und Grünabfall),

Zielsetzung: Herstellung eines verwertbaren Endproduktes, das der ÖNORM S 2200 (Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen) entspricht,

Kapazität: 6.500 Mg/a.

- **Verarbeitungslinie II:**

Verrottung von mechanisch aufbereitetem Restabfall zusammen mit kommunalem, entwässertem Klärschlamm

Zielsetzung: Herstellung eines mengenreduzierten, homogenisierten und humifizierten Endproduktes für die anschließende Deponierung und Abtrennung von heizwertreichen Materialien zur thermischen Verwertung (MBRS), Kapazität: 17.100 Mg/a, davon ca. 5.000 Mg/a Klärschlamm (rund 30 % TS).

Die Intensivrotte beider Verfahrenslinien wird nach dem BAS-Tunnelrotteverfahren, einem statischen, geschlossenen und zwangsbelüfteten Reaktorverfahren, betrieben. Es sind 3 Tunnel für die Kompostierung der biogenen Abfälle und 6 Tunnel für die Restabfall- und Klärschlammbehandlung vorgesehen. In Abbildung 5.5 ist ein vereinfachtes Verfahrensschema der MBRA Allerheiligen dargestellt und im folgenden werden die wesentlichen Behandlungsschritte beschrieben. Zur besseren Veranschaulichung ist in Anhang C eine Fotodokumentation zusammengestellt.

I. Mechanische Vorbehandlung:

Der Restabfall wird direkt von den Müllfahrzeugen in den eingehausten Tiefbunker gekippt, mittels Greifer der Hammermühle zur Zerkleinerung zugeführt und anschließend werden Fe-Metalle durch Magnetscheidung abgetrennt. In einer Sieb-trommel (Polygonsieb) findet die Absiebung des Abfalls bei derzeit 80 mm statt. Die Fraktion > 80 mm ist insbesondere aufgrund des hohen Kunststoff- und Textilanteils heizwertreich und soll künftig einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Zur Zeit wird dieser Anteil des Restabfalls deponiert. Der Siebdurchgang (< 80 mm) wird vor dem eigentlichen Rotteprozeß im Mischzerkleinerer mit etwa 20 Volumen-% Klärschlamm (ca. 30 % TS) homogenisiert.

Der gesamte Rotteprozeß läßt sich in die Hauptrotte, bestehend aus Intensiv- und Extensivrotte sowie die anschließende Nachreife (Nachrotte) untergliedern.

II. Intensivrotte (Hauptrotte, 1. Phase):

Die 30 m langen und 3 m breiten Tunnelreaktoren sind in Beton ausgeführt und haben ein Fassungsvermögen von maximal 160 m³ Restabfall-/Klärschlamm-Gemisch. Die Beschickung der Intensivrottemodule erfolgt durch ein teleskopierbares Förderbandsystem. Jedes Modul besteht aus einem Kompostiertunnel und einer darunter befindlichen Druckkammer, die durch einen speziell entwickelten Rostboden voneinander getrennt sind. Das Rottegut wird auf ein Polyethylen-Schleppnetz befördert, mit dem der Boden ausgelegt ist. Nach der Befüllung der Rottetunnel beginnt der PC-gesteuerte Intensivrotteprozeß.

Für die Intensivrotte steht eine Zeitdauer von 14 Tagen zur Verfügung. Die Hygienisierungstemperatur beträgt mindestens 65 °C und wird über 3 Tage eingehalten. Anschließend wird das Material bei 48 °C weitergerottet. Die Prozeßbedingungen werden laufend dem Rottegrad und dem Rotteverlauf angepaßt, wobei folgende Parameter variiert werden können:

- die Zu-, Um- und Abfluttmengen,
- die Temperaturen im Rottegut sowie in der Zu- und Umluft,
- der O₂-Gehalt in der Umluft,
- die Mengen an Nachbefeuchtungswasser.

Der Tunnel kann mit bis zu 10.000 m³ Luft/h zwangsbelüftet werden, wobei das Frischluft-

/Umluft-Verhältnis den Anforderungen entsprechend eingestellt wird. Der Rotteprozeß ist durch eine negative Wasserbilanz gekennzeichnet, so daß zur Aufrechterhaltung der mikrobiellen Aktivität während der Intensivrotte nachbefeuchtet werden muß. Der zusätzliche Wasserinput setzt sich derzeit aus Frischwasser und dem Perkolat der Intensiv- und Extensivrotte zusammen.

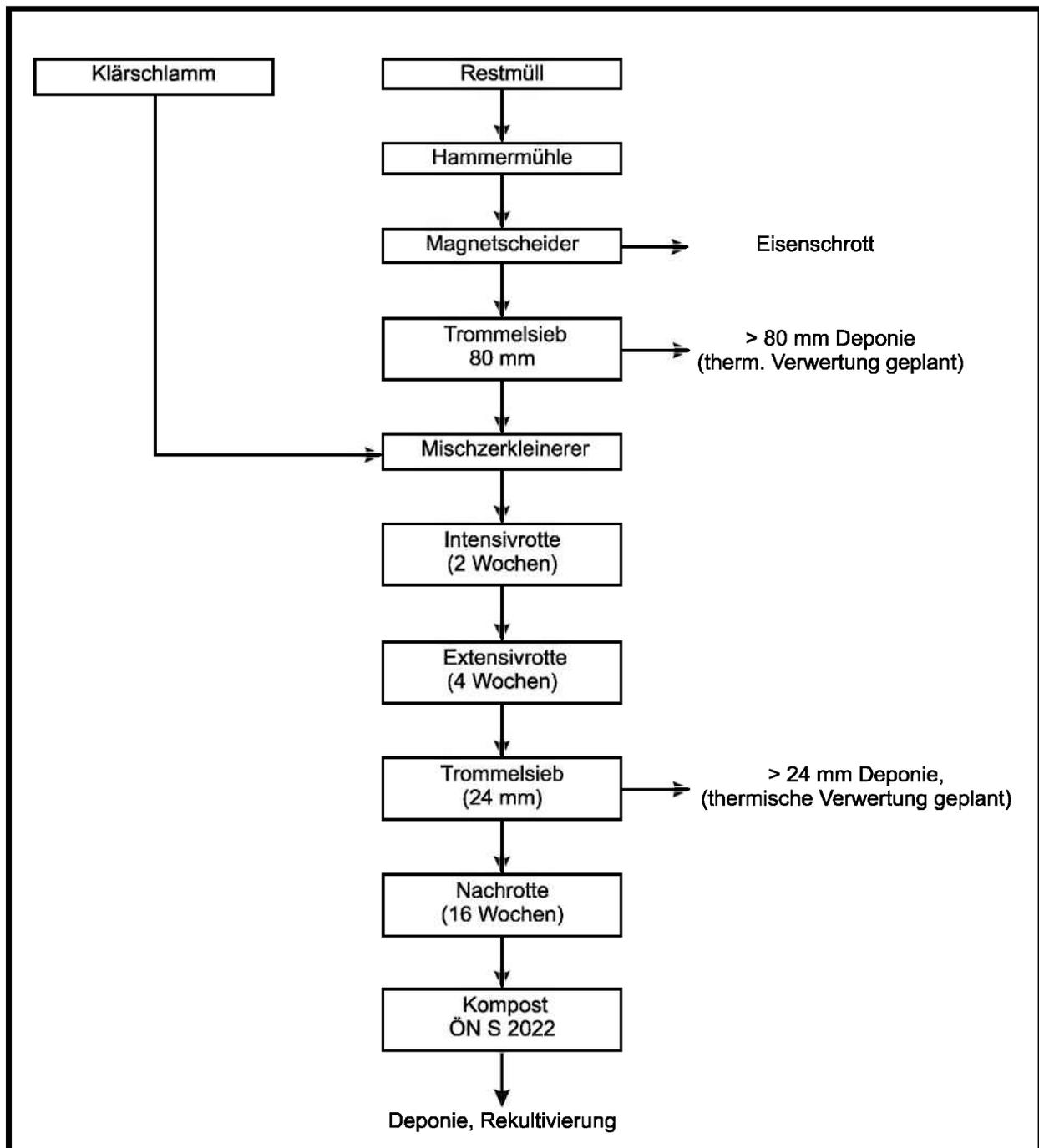


Abbildung 5.5: Vereinfachtes Verfahrensschema der MBRA Allerheiligen

Nach der Intensivrotte erfolgt der Austrag des Rotteguts mit Hilfe des PE-Schleppnetzes, das mit einer hydraulischen Winde aus dem Tunnel gezogen wird.

Das Rottegut wird auf ein unter der Windenmaschine plaziertes Förderband abgeworfen und von diesem abtransportiert.

I. Extensivrotte (Hauptrotte, 2. Phase):

Mittels Radlader wird das Rottegut anschließend in einen dazu vorgesehenen Teil der Halle befördert und auf Rotteplatten zu 3i bis 4r Meter hohen Mieten aufgesetzt. Vor dem Aufsetzen der Mieten kann bei Bedarf eine Bewässerung stattfinden. Durch die installierte Zwangsbelüftung (Saugbelüftung) wird eine gezielte Sauerstoffzufuhr gewährleistet. Die Verweilzeit des Materials auf den Rotteflächen beträgt etwa 4 Wochen.

II. Feinaufbereitung und Nachreife

Gemäß Anlagenkonzept soll das Rottegut nach der Hauptrotte bei 24 mm abgesiebt werden. Für das Überkorn ist ab dem Jahr 2004 eine thermische Verwertung vorgesehen, während die Fraktion < 24 mm weitere 16 Wochen in Form von nicht bewässerten, unbelüfteten Tafelmieten (statische Nachreife) biologisch weiterbehandelt werden soll. Ein (kleiner) Teil des Rottegutes kann als Restmüllkompost, der die Anforderungen gemäß ÖNORM S 2022 erfüllt, bei der Rekultivierung der eigenen Deponie eingesetzt werden. Für den Großteil des Rottegutes wird die Einhaltung der Anforderungen gemäß Deponieverordnung angestrebt, damit das Material auch nach dem 1.1.2004 deponiert werden kann. Auf die Probleme bei der Abtrennung der heizwertreichen Anteile zwischen 2 Rottestufen wurde bereits in Kapitel 2.3.4 hingewiesen. Aus diesem Grund sind im Rahmen der Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen vorwiegend alternative Varianten getestet worden (siehe auch Kapitel 9).

Derzeit wird das gesamte Rottegut aus betriebswirtschaftlichen Gründen nach der Hauptrotte (2 Wochen Rottetunnel und 4 Wochen belüftete Rotteplatte) deponiert.

Aufgrund der Vorgeschichte ist die MBRA Allerheiligen komplett geschlossen ausgeführt, d.h. sämtliche Behandlungsschritte vom Entladen in den Müllbunker bis zur Fertigrotte werden in geschlossenen Hallen durchgeführt. Die Abluft wird vollständig erfaßt und über einen Staubfilter (Bunkerbereich) bzw. Biofilter (Intensivrottetunnel und Rottehalle) gereinigt. Belästigungen der Anwohner durch Geruchsemissionen können auf diese Weise weitestgehend vermieden werden.

6 Zusammensetzung des Restmülls

6.1 Restmüllsortierungen

6.1.1 Konzeption und Durchführung

Wie in Kapitel 5 erläutert besteht der Input der MBRA Allerheiligen zu rund 2 Drittel aus kommunalem Restmüll. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Restmüllzusammensetzung sind von Sommer 1996 bis Frühjahr 1997 mit 5 Mitarbeitern des IED insgesamt 4, jeweils 2 Wochen dauernde, manuelle Sortierkampagnen in Allerheiligen durchgeführt worden. Die Konzeption und Durchführung der Restmüllsortierungen sind sehr ausführlich in [42] beschrieben, so daß hier nur die wesentlichen Punkte zusammengefaßt werden. Allgemeine Grundlagen für die Planung und Durchführung von Restmüllsortierungen können z.B. [60, 61 und 62] entnommen werden.

Relevante Einflußgrößen für die Menge und Zusammensetzung von Restabfällen sind insbesondere die Siedlungsstruktur (Wohnform, soziale Situation), regionale Gegebenheiten, Behältergröße und -volumenangebot, Gebührensystem sowie Altstoff- und Erfassungssysteme für Problemstoffe. Darüber hinaus sind jahreszeitliche Schwankungen, bedingt durch Heizungs- und Vegetationsperioden, Urlaubseffekte und Konsumverhalten zu berücksichtigen.

Um die saisonalen Effekte zu minimieren wurden die 4 Sortierkampagnen im Abstand von jeweils ca. 3 Monaten angesetzt und damit die 4 Jahreszeiten abgedeckt. Die erste Sortierkampagne erfolgte in der 26. und 27. Kalenderwoche und erfaßte damit die Restmüllabfuhr vom 21. Juni bis 5. Juli 1996, kurz vor Beginn der Sommerferien. Die Herbstanalyse fand Anfang bis Mitte Oktober 1996 (KW 41 und 42) statt. Für die Winteranalyse wurden die 7. und 8. Kalenderwoche 1997 ausgewählt und die Frühjahrsanalyse ist schließlich in KW 15 und 16 durchgeführt worden.

Die "Ergänzenden Empfehlungen zur TA Siedlungsabfall" [63] geben in Ziffer 4.2.1 vor, daß jede der 4 über ein Jahr verteilten Sortierkampagnen etwa 1 % der wöchentlichen Grundgesamtheit (Restmüllanfall) umfassen sollte, um eine repräsentative Gesamtstichprobe darzustellen. Hier ist anzumerken, daß danach z.B. bei einer Stadt mit 1 Mio. Einwohner und 100 kg Restmüll pro EW*a rund 19 Mg zu sortieren sind. Dies ist zum einen nicht erforderlich, um annähernd repräsentative Ergebnisse zu erhalten und führt zum anderen zu unverhältnismäßig hohen Kosten.

Bei einer im Mürzverband anfallenden Gesamtmenge von jährlich 10.478 Mg (i. J. 1996) beträgt die wöchentliche Restmüllmenge 201,5 Mg. Der vorgeschlagene zu sortierende Anteil von 1 % beläuft sich damit auf rund 2 Mg. Für die vorliegende Untersuchung ist die Entscheidung getroffen worden, pro Sortierkampagne 25 Müllgroßbehälter (MGB) mit einem Nennvolumen von 1,1 m³ einer Restmüllanalyse zu unterziehen. Ausgehend von einem

Raumgewicht des Restmülls von 100 bis 130 kg/m³ (lose Schüttung) ergeben die 25 Stichproben eine zu sortierende Restmüllmenge von rechnerisch 27,5 m³ bzw. 2,750 bis 3,575 Mg.

Tabelle 6.1: Hauptstoffgruppen und Sortierfraktionen für die Restmüllsortierungen

Hauptstoffgruppe	Sortierfraktion
Pappe und Papier	1. Pappe, Packpapier
	2. Druckerzeugnisse
Metallverpackungen	3. Ferromagnetische Metallverpackungen
	4. Nichtferromagnetische Metallverpackungen
Glasverpackungen	5. Glasverpackungen (Hohlglas)
Leichtverpackungen	6. Kunststoffverpackungen
	7. Verbundstoffverpackungen
Sonstige Metalle	8. Ferromagnetische Metalle
	9. Nichtferromagnetische Metalle
Sonstiges Glas	10. (Flach-) Glas
Sonstige Kunststoffe	11. Sonstiger Kunststoff
Sonstige Verbundstoffe	12. Materialverbund
Biogene Abfälle	13. Organik-Küche
	14. Organik-Garten
Textilfraktion	15. Textilien/Bekleidung
Mineralien	16. Mineralien
Holz/Gummi/Leder	17. Holz/Gummi/Leder
Windelfraktion	18. Windeln/Hygieneartikel
Problemstoffe	19. Problemstoffe
Feinfraktion	20. Feinmüll (< 10 mm)
Rest	21. Restfraktion

Bei der Festlegung der zu beprobenden Haushalte (Probenahmeplan) wurde insbesondere auf die bevölkerungsproportionale Berücksichtigung der wesentlichen Merkmalsausprägungen wie städtische bzw. ländliche Siedlungsstruktur geachtet und in Haushalte mit bzw. ohne Biotonne unterschieden. Aufgrund des unzureichenden Datenmaterials war es nicht möglich, die an die kommunale Restmüllabfuhr angeschlossenen Gewerbebetriebe zu erfassen und bei der Beprobung zu berücksichtigen. Die Stichproben wurden am Tag der regulären

Müllabfuhr eingesammelt, in 1,1-m³-MGB (Sammelprobe) umgeleert, zur MBRA Allerheiligen transportiert und in der Halle des Altstoffsammelzentrums der Firma Saubermacher die händische Sortierung (i.d.R. am gleichen Tag) durchgeführt.

Die Einteilung der Sortierfraktionen erfolgte in erster Linie nach der Zweckmäßigkeit hinsichtlich der Anlagenoptimierung vor dem Hintergrund der Deponieverordnung. Daher kommt den Fraktionen mit einem hohen biologisch abbaubaren Anteil (biogene Abfälle, Windeln/Hygieneartikel und Papier/Pappe) eine besondere Bedeutung zu. Ein weiteres Augenmerk liegt auf den Kunststoff- bzw. Verbundstoffverpackungen, da es sich um heizwertreiche, biologisch nicht abbaubare Fraktionen handelt, die im Verfahrensverlauf abzutrennen sind. Weitere Kriterien zur Erstellung des Sortierkataloges sind die Durchführbarkeit (z.B. vorhandene Arbeitsgeräte) sowie die Vergleichbarkeit mit anderen Abfallanalysen. Außerdem sollte darauf geachtet werden, daß die Einteilung möglichst klar und leicht verständlich ist, damit ein möglichst hoher Durchsatz beim Sortieren erreicht werden kann.

Ein Stoffgruppenkatalog, der die genannten Ziele gleichermaßen berücksichtigt, stellt zwangsläufig einen Kompromiß dar. Die Hauptstoffgruppen und zugeordneten Sortierfraktionen können der Aufstellung in Tabelle 6.1 entnommen werden und sind in Anhang D näher beschrieben. Durch diese differenzierte Sortiersystematik lassen sich die Abfälle in erster Linie gemäß Ihrer stofflichen Zusammensetzung einteilen. Als weiteres Klassifizierungsmerkmal dient der ursprüngliche Verwendungszweck, so daß sich der überwiegende Teil der Hauptstoffgruppen unterteilen läßt in Verpackungsmaterialien (Fraktionen 1, 3 bis 7), Verbrauchsgüter (Fraktionen 2, 18 und 19) und langlebige Gebrauchsgegenstände (Fraktionen 8 bis 12, 15 und 17).

Im Rahmen der Sortierungen wurde der Inhalt eines jeden Containers nach und nach mittels Schaufel auf einen vom IED konstruierten Sortiertisch aufgegeben und von der Sortiermannschaft in für die einzelnen Fraktionen bereitstehende 120-l-Tonnen sortiert. Der Sortiertisch besitzt eine Grundfläche von 1 m × 2,5 m bei einer Arbeitshöhe von 1 m und die Tischfläche besteht aus einem großmaschigen Sieb, das mit einer etwa 70 mm hohen Kante umrandet ist. Das Sieb, das eine Rundlochung von 10 mm Maschenweite aufweist, hat den Zweck, die Feinfraktion, wie Asche, Katzenstreu und Staubpartikel vom gröberen Abfall abzutrennen. Nach Abschluß der Sortierung jedes 1,1-m³-Restmüllcontainers wurden die Gewichte der Sortierfraktionen bestimmt. Einen Eindruck von der Arbeitsweise bei der Restmüllsortierung sollen die Abbildungen 6.1 und 6.2 vermitteln. Von den Fraktionen, die den Glühverlust, TOC-Gehalt und oberen Heizwert des gesamten Restmülls wesentlich beeinflussen, wurden Proben für die Laboranalysen gezogen.

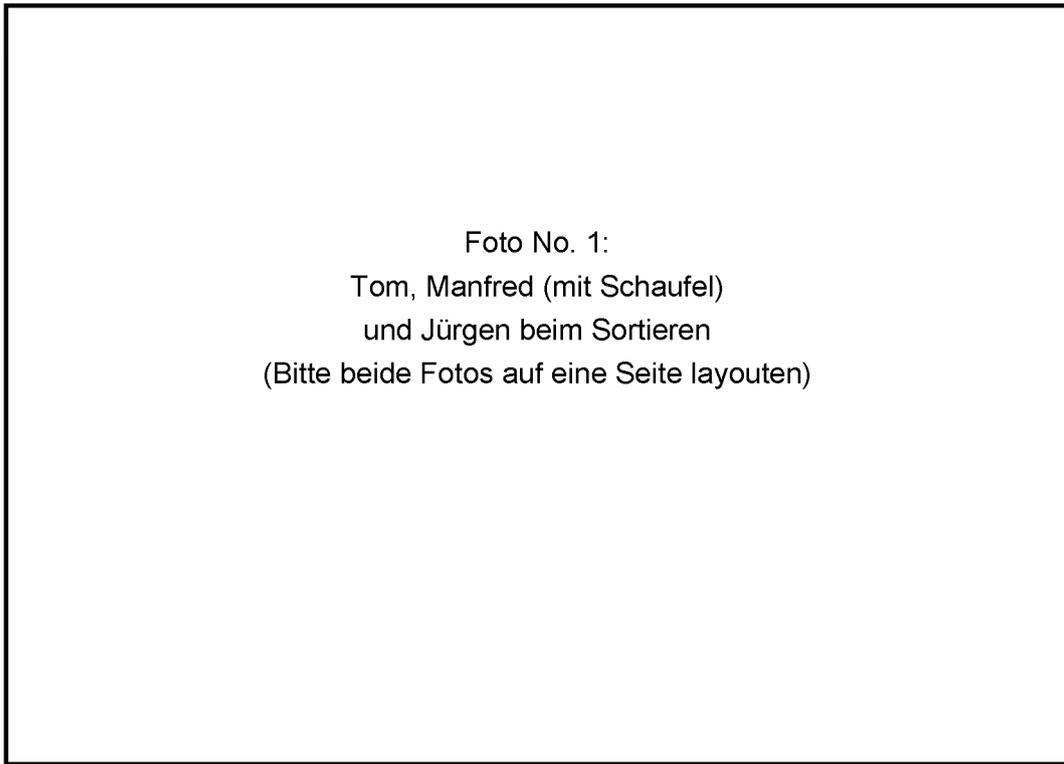


Abbildung 6.1: Die Sortiermannschaft bei der Arbeit; wichtigstes Hilfsmittel ist der Sortiertisch, auf den der Abfall mit einer Schaufel aufgegeben wird

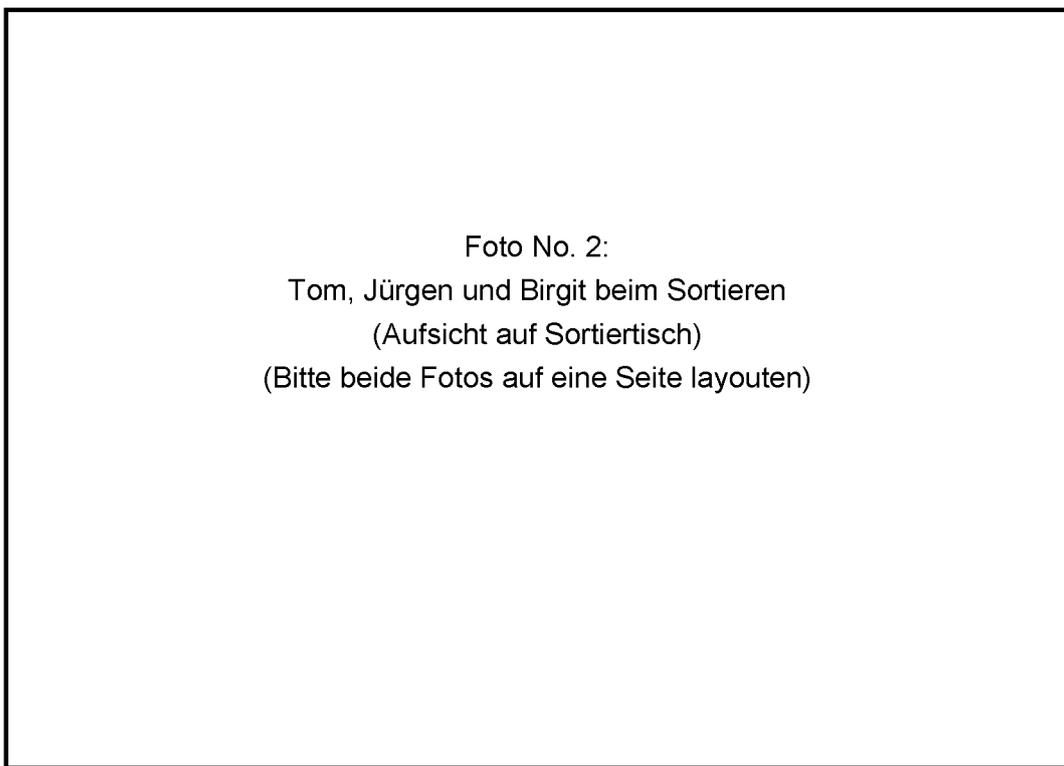


Abbildung 6.2: Aufsicht auf den Arbeitsplatz mit Sortiertisch (10-mm-Sieb) und Sortierbehältern für 21 Fraktionen

6.1.2 Sortierergebnisse

6.1.2.1 Eckdaten von Probenahme und Sortierung

Aufgrund der Tatsache, daß sich die Stichproben den einzelnen Haushalten (Einwohnern) und damit den spezifischen Rahmenbedingungen wie z.B. städtische oder ländliche Siedlungsstruktur zuordnen lassen, ergeben sich weitgehende Möglichkeiten für eine differenzierte Auswertung der Restmüllsortierungen. In der vorliegenden Arbeit wird die einwohnerspezifische Restmüllmenge und durchschnittliche Zusammensetzung des Restmülls für die einzelnen Jahreszeiten ermittelt und für die weiteren Auswertungen zur Charakterisierung des Inputs der MBRA Allerheiligen herangezogen. Die Darstellung und Auswertung der Sortierergebnisse unter anderen Gesichtspunkten wie z.B. die Abhängigkeiten der Restmüllmenge und -zusammensetzung von der Siedlungsstruktur oder dem Anschlußgrad an die Biotonne können den Arbeiten [42 und 55] entnommen werden.

Während der 4 Sortierkampagnen wurden insgesamt 100 Sammelproben (1,1 m³ MGB), die jeweils aus bis zu 17 Stichproben zusammengesetzt waren, mit einer Gesamtmasse von rund 12,1 Mg sortiert. Der Restmüll stammt von knapp 3.300 Einwohnern aus 15 Gemeinden im Einzugsgebiet der MBRA Allerheiligen. In Tabelle 6.2 sind die Eckdaten der 4 Restmüllsortierungen zusammengestellt. Um die einwohnerspezifischen Kennwerte aus den 2.100 Einzeldaten (100 Container je 21 Fraktionen) zu ermitteln, muß die Anzahl der tatsächlich beprobten Personen zum Abfuhrzyklus, der i. d. R. 4 Wochen beträgt, in Beziehung gesetzt werden. Darüber hinaus ist die bevölkerungsproportionale Wichtung der Daten bezüglich der Merkmalsausprägungen Siedlungsstruktur (städtisch/ländlich) und Anschluß an die Biotonne (ja/nein) bei den Berechnungen vorzunehmen.

Tabelle 6.2: Übersicht über die ausgewerteten Restmüllmengen mit den zugehörigen Einwohnern und Haushalten

Probenahmezeitraum	Abfallmenge [kg]	beprobte Einwohner	Einwohner normiert ¹
Juni / Juli 1996	2.466	782	526,6
Oktober 1996	3.303	796	544,6
Februar 1997	2.995	883	543,4
April 1997	3.334	830	596,5
Summe	12.098	3291	2211,1

¹ Einwohnerzahl normiert auf einen vierwöchigen Abfuhrzyklus

6.1.2.2 Sommer 1996

Für den ersten Sortierdurchgang im Sommer '96 wurden insgesamt 2.466 kg Restmüll mit

einem aus den einzelnen Füllgraden geschätzten Volumen von 19,3 m³ aus 8 Gemeinden, darunter die beiden Städte Kapfenberg und Bruck an der Mur, eingesammelt. Es wurden 144 Abfallbehälter beprobt, die zum überwiegenden Teil 120 bzw. 240 l faßten und manuell in 1,1-m³-Container umgefüllt wurden. In drei Fällen wurde ein 1,1-m³-Container direkt sortiert. Das durchschnittliche Gewicht einer Sammelprobe (bzw. Containerinhalts) betrug 110,7 kg bei einer durchschnittlichen spezifischen Dichte des Abfalls (ab Erzeuger) von rund 143 kg/m³. Der Median der Schüttdichten liegt bei 156 kg/m³; die Schwankungsbreite geht von 56 bis 223 kg/m³. Ähnliche Schüttdichten wurden auch bei den anderen Sortierkampagnen ermittelt auf deren Angabe deshalb im folgenden verzichtet wird.

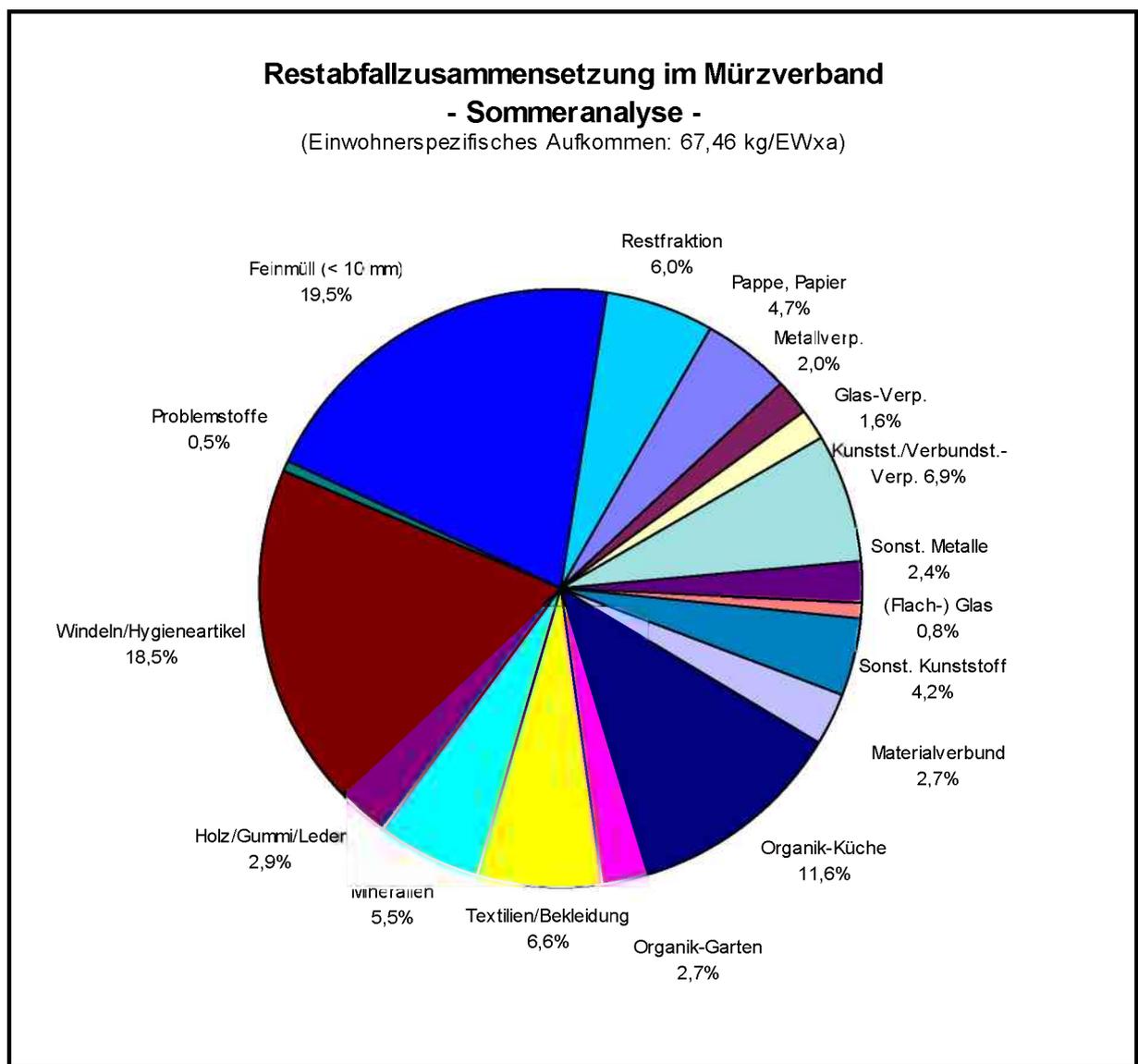


Abbildung 6.3: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Sommeranalyse (Angaben in Massenprozent)

Die durchschnittliche Restmüllzusammensetzung für die Sommermonate wird durch Abbildung 6.3 veranschaulicht. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den dokumentierten

Mengen der getrennt erfaßten Altstoffe des Müzverbandes sind die Pappe-/Papier-Fractionen (Nr. 1 und 2), die beiden Metallverpackungs-Fractionen (Nr. 3 und 4), die Kunststoff- und Verbundstoff-Verpackungen (Nr. 6 und 7) sowie die "Sonstigen Metalle" (Nr. 8 und 9) aufsummiert dargestellt.

Der Restmüll des Müzverbandes besteht auch im Sommer zu 19,5 M-% aus Feinmüll (< 10 mm) und der Anteil der Windeln und Hygieneartikel beträgt 18,5 Gew.-%. Die Küchen- und Gartenabfälle machen zusammen einen Masseanteil von 14,3 % aus und die Fractionen Kunststoff-/Verbundstoffverpackungen und Textilien/Bekleidung sowie die Restfraction sind mit 6,9 bzw. 6,3 und 6,0 M-% vertreten. Der Anteil der übrigen Fractionen liegt zwischen 5,5 M-% (Mineralien) und 0,5 M-% (Problemstoffe). Die heizwertreichen Fractionen (Kunststoff-/Verbundstoffverpackungen, sonst. Kunststoffe, Materialverbund und Holz/Gummi/Leder), die biologisch praktisch nicht abbaubar sind, sind mit 16,7 M-% vertreten. Auffällig sind neben den hohen Anteilen von Feinmüll und Hygieneartikeln insbesondere die geringen Glas- und Papiergehalte (in Summe 7,1 M-%), die auf eine gute Getrenntsammlung schließen lassen.

Die Restfraction ist der Rückstand auf dem Sortiertisch (Korngröße ca. 10 bis 20 mm), der nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand in die einzelnen Fractionen sortiert werden kann. Der Anteil sollte nach Möglichkeit < 5 M-% sein. Hochgerechnet auf 12 Monate ergibt sich auf Basis der Sommersortierung ein spezifisches Restmüllaukommen von 67,5 kg/EW×a.

6.1.2.3 Herbst 1996

Während der zweiten Sortierkampagne im Oktober 1996 wurden insgesamt 3.303 kg Restmüll mit einem geschätzten Volumen von 21,9 m³ sortiert.

Die durchschnittliche Restmüllzusammensetzung der Herbstanalyse kann Abbildung 6.4 entnommen werden. Der Restmüll des Müzverbandes besteht im Herbst zu 22,7 M-% aus Feinmüll (< 10 mm), gefolgt von den Organikfractionen mit insgesamt 16,5 M-%. Der Anteil der Windeln und Hygieneartikel beträgt 12,3 M-%., während die Mineralien mit 8,0 M-% vertreten sind. Der Anteil der übrigen Fractionen liegt zwischen 6,7 M-% (Kunststoff/Verbundstoffverpackungen) und 0,5 M-% (Problemstoffe). Die heizwertreichen Fractionen (Kunststoff-/Verbundstoffverpackungen, sonst. Kunststoffe, Materialverbund und Holz/Gummi/Leder) sind mit 17,8 M-%. vertreten. Auffällig sind neben dem hohen Feinmüllanteil der im Vergleich zur Sommeranalyse höhere Organikanteil und die geringen Glas- und Papiergehalte (in Summe 7,0 M-%). Hochgerechnet auf 12 Monate ergibt sich auf Basis der Herbstsortierung ein spezifisches Restmüllaukommen von 84,2 kg/EW×a.

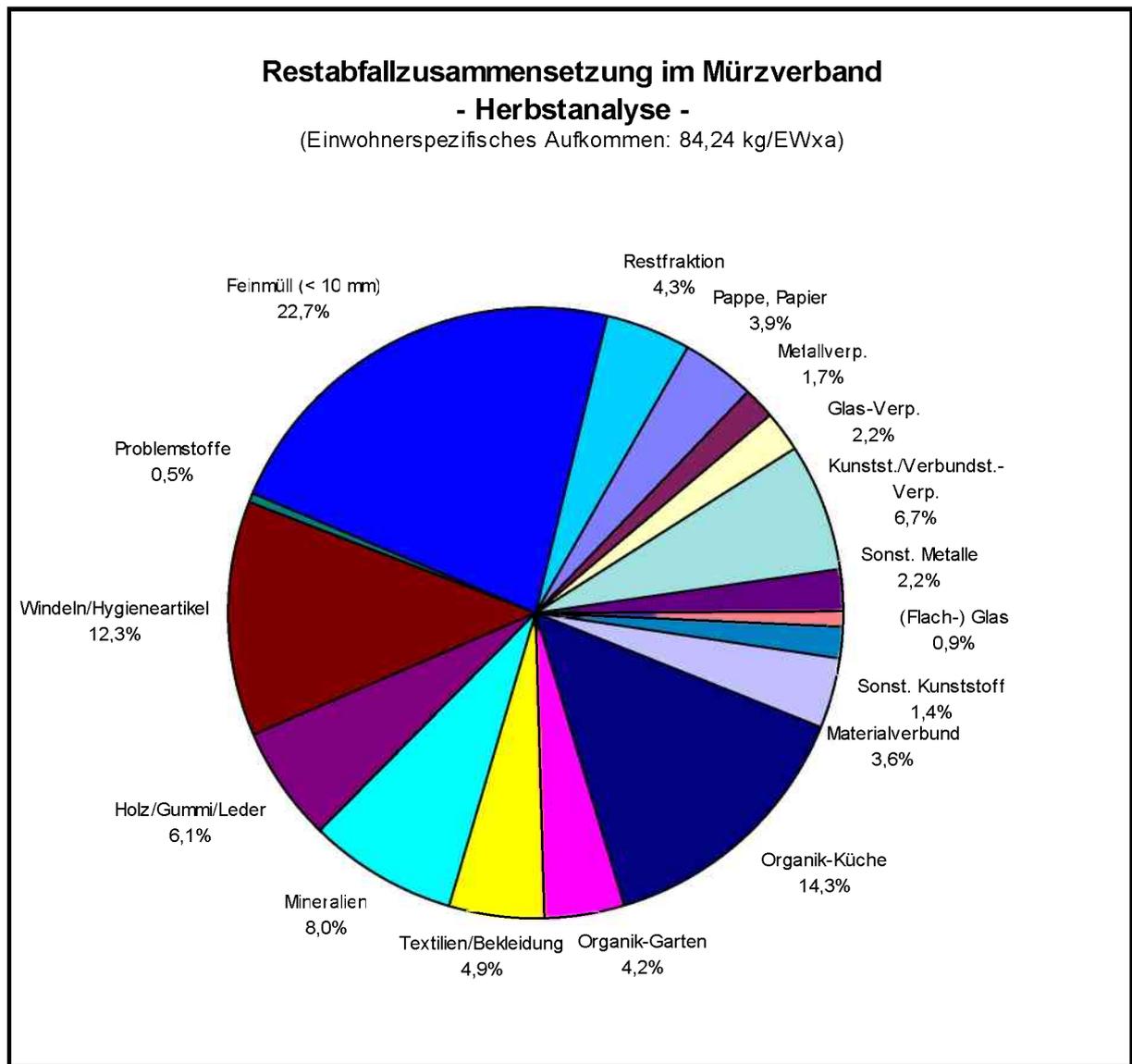


Abbildung 6.4: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Herbstanalyse, (Angaben in Massenprozent)

6.1.2.4 Winter 1996/97

Während der Sortierung im Februar 1997 wurden insgesamt 2.995 kg sortiert. Die durchschnittliche Restmüllzusammensetzung der Wintersortierung kann Tabelle 6.6 entnommen werden. Wie zu erwarten ist in der Heizperiode ein weiterer Anstieg des Feinmüllanteils auf 33,3 M-% feststellbar. Auffällig ist der relativ hohe Anteil der Küchenabfälle von 16,8 M-%. Der Anteil der Windeln und Hygieneartikel beträgt 11,4 M-%, während die Mineralien mit 7,8 M-% vertreten sind. Der Anteil der übrigen Fraktionen liegt zwischen 6,2 M-% (Kunststoff/Verbundstoffverpackungen) und 0,4 M-% (Problemstoffe). Die heizwertreichen Fraktionen (Kunststoff./Verbundstoffverpackungen, sonst. Kunststoffe, Materialverbund und Holz/Gummi/Leder), die biologisch praktisch nicht abbaubar sind, sind mit 11,2 M-% vertreten. Auf Grundlage der Wintersortierung ergibt sich ein spezifisches

Restmüllaufkommen von 71,2 kg/EW*a.

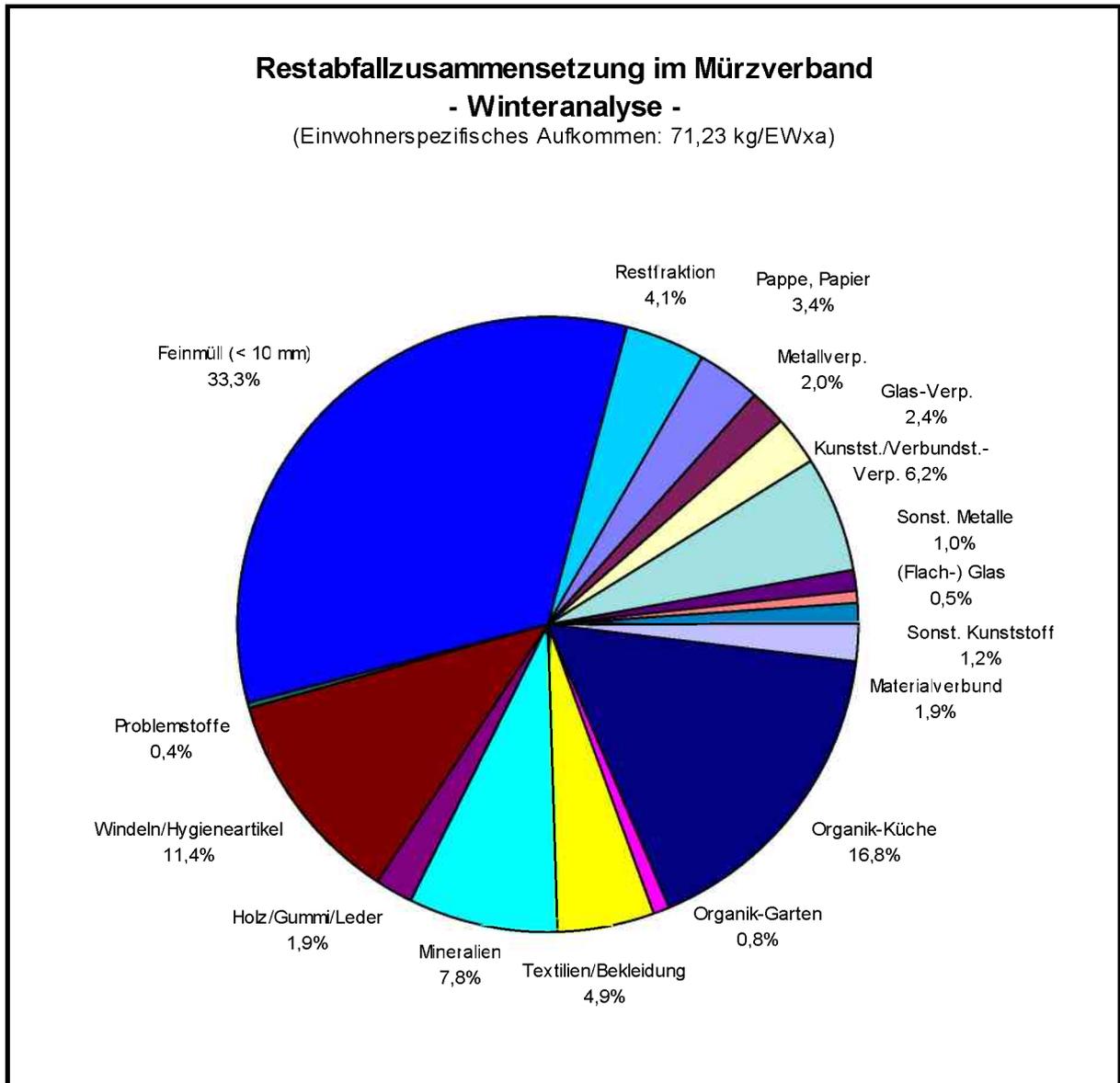


Abbildung 6.5: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Winteranalyse (Angaben in Massenprozent)

6.1.2.5 Frühjahr 1997

Für die Sortierung im Frühjahr, die Mitte April durchgeführt wurde, sind insgesamt 3.334 kg sortiert worden. Die durchschnittliche Restmüllzusammensetzung der Frühjahrsanalyse kann Abbildung 6.6 entnommen werden.

Auch bei den Frühlingsergebnissen sticht der witterungsbedingt hohe Anteil des Feinmülls von 31,7 M-% ins Auge. Dieser hohe Anteil an Feinmüll ist, bedingt durch Hausbrand aufgrund des späten Wintereinbruch während der Sortierung, zu erklären. In Mitterdorf gab es beispielsweise bei der Einsammlung des Restmülls zur Analyse am 17.4.1997 ca. 40 cm

Neuschnee. Auffällig ist der relativ hohe Anteil der Küchenabfälle von 16,5 M-%. Der Anteil der Windeln und Hygieneartikel beträgt 12,2 M-%., während die Mineralien, Textilien und Kunststoff/Verbundstoffverpackungen mit mit rund 6 M-% vertreten sind.

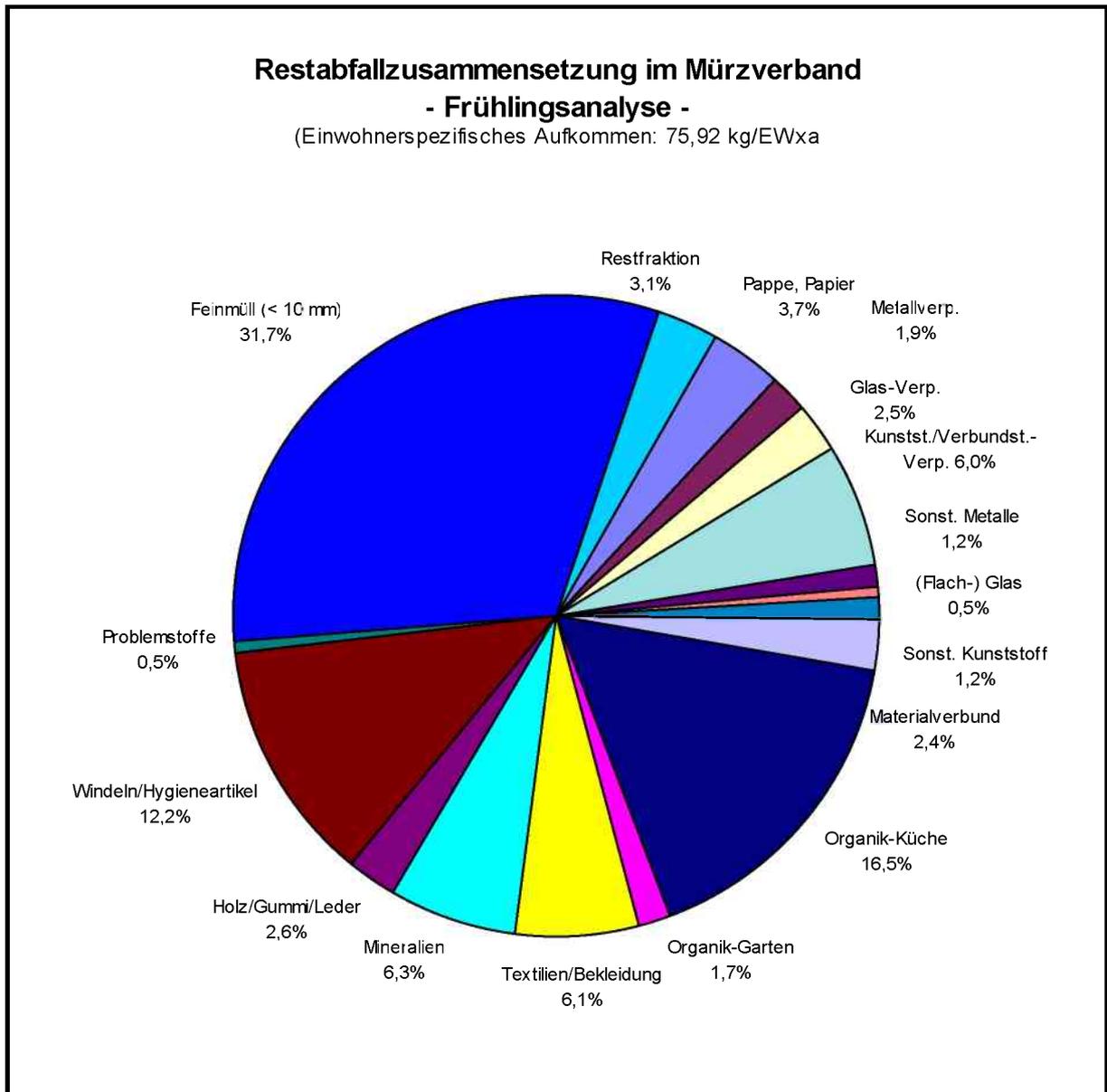


Abbildung 6.6: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Frühlingsanalyse (Angaben in Massenprozent)

Der Anteil der übrigen Fraktionen liegt zwischen 3,7 M-% (Papier/Pappe) und 0,5 M-% (Problemstoffe bzw. (Flach-)glas). Die heizwertreichen Fraktionen (Kunststoff-/Verbundstoffverpackungen, sonst. Kunststoffe, Materialverbund und Holz/Gummi/Leder) sind mit 12,2 M-%. vertreten. Auf Grundlage der Sortierung im Frühjahr ergibt sich ein spezifisches Restmüllaukommen von 75,9 kg/EWxa.

6.1.2.6 Zusammenfassung der 4 Sortierungen

In Tabelle 6.3 ist die durchschnittliche Restmüllzusammensetzung für die einzelnen Jahreszeiten zusammengestellt. Jahreszeitlich bedingte Schwankungen der Zusammensetzung sind wie zu erwarten bei den Fraktionen Feinmüll (Hausbrandasche) und Gartenorganik feststellbar. Der Anteil der Küchenorganik fällt für den Sommer mit lediglich 11,6 M-% relativ gering aus. Auffällig ist auch der relativ hohe Anteil an Windeln und Hygieneartikeln (11,4 bis 18,5 M-%) im Restmüll. Die konstant geringen Gehalte an Verpackungen aus Glas und Metall sowie Papier und Pappe lassen auf eine funktionierende Getrennsammlung und Verwertung dieser Abfälle schließen. Hingegen ist der Anteil der Kunststoff- bzw. Verbundstoffverpackungen im Jahresverlauf mit 6,0 bis 6,9 M-% noch relativ hoch.

Tabelle 6.3: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Restmüllzusammensetzung für die 4 Jahreszeiten (Angaben in Massenprozent)

Sortierfraktion	Sommer 96	Herbst 96	Winter 96/97	Frühjahr 97	Spannweite
Pappe, Papier	4,7	3,9	3,4	3,7	3,4 - 4,7
Metall-Verpack.	2,0	1,7	2,0	1,9	1,7 - 2,0
Glas-Verpack.	1,6	2,2	2,4	2,5	1,6 - 2,5
Kunst./Verb.-V.	6,9	6,7	6,2	6,0	6,0 - 6,9
Sonst. Metalle	2,4	2,2	1,0	1,2	1,0 - 2,4
(Flach-)Glas	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5 - 0,9
Sonst. Kunstst.	4,2	1,4	1,2	1,2	1,2 - 4,2
Materialverbund	2,7	3,6	1,9	2,4	1,9 - 3,6
Organik-Küche	11,6	14,3	16,8	16,5	11,6 - 16,8
Organik-Garten	2,7	4,2	0,8	1,7	0,8 - 4,2
Textilien/Bekleid.	6,6	4,9	4,9	6,1	4,9 - 6,6
Mineralien	5,5	8,0	7,8	6,3	5,5 - 8,0
Holz/Gummi/Led.	2,9	6,1	1,9	2,6	1,9 - 6,1
Windeln/Hygiene.	18,5	12,3	11,4	12,2	11,4 - 18,5
Problemstoffe	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4 - 0,5
Feinmüll	19,5	22,7	33,3	31,7	19,5 - 33,3
Restfraktion	6,0	4,3	4,1	3,1	3,1 - 6,0
Summe	100	100	100	100	-

Die mittlere Zusammensetzung des Restmülls, die auf Basis der 4 durchgeführten Sortierkampagnen durch (gewichtete) arithmetische Mittelwertbildung errechnet wurde, kann Abbildung 6.7 entnommen werden. Das einwohnerspezifische Restmüllaufkommen liegt demnach bei 74,7 kg/EW*a. Der Restmüll des Müzverbandes weist einen hohen Feinmüllanteil von 27,0 M-%, insbesondere aufgrund der weitverbreiteten Ofenheizungen auf. Der Anteil der Organikfraktionen liegt bei insgesamt 17,2 M-% und die Fraktion Windeln/Hygieneartikel beträgt 13,5 M-%. Die Mineralien sind mit 6,9 M-%,

Kunststoff/Verbundverpackungen mit 6,4 M-% und Textilien mit durchschnittlich 5,6 M-% vertreten. Der Anteil der übrigen Fraktionen liegt zwischen 4,3 M-% (Restfraktion) und 0,5 M-% (Problemstoffe). Auffällig sind neben den relativ hohen Anteilen an Feinmüll, Windeln/Hygieneartikel und Organik insbesondere der relativ geringe Anteil an Glasverpackungen (2,2 M-%) und Papier/Pappe (3,9 M-%).

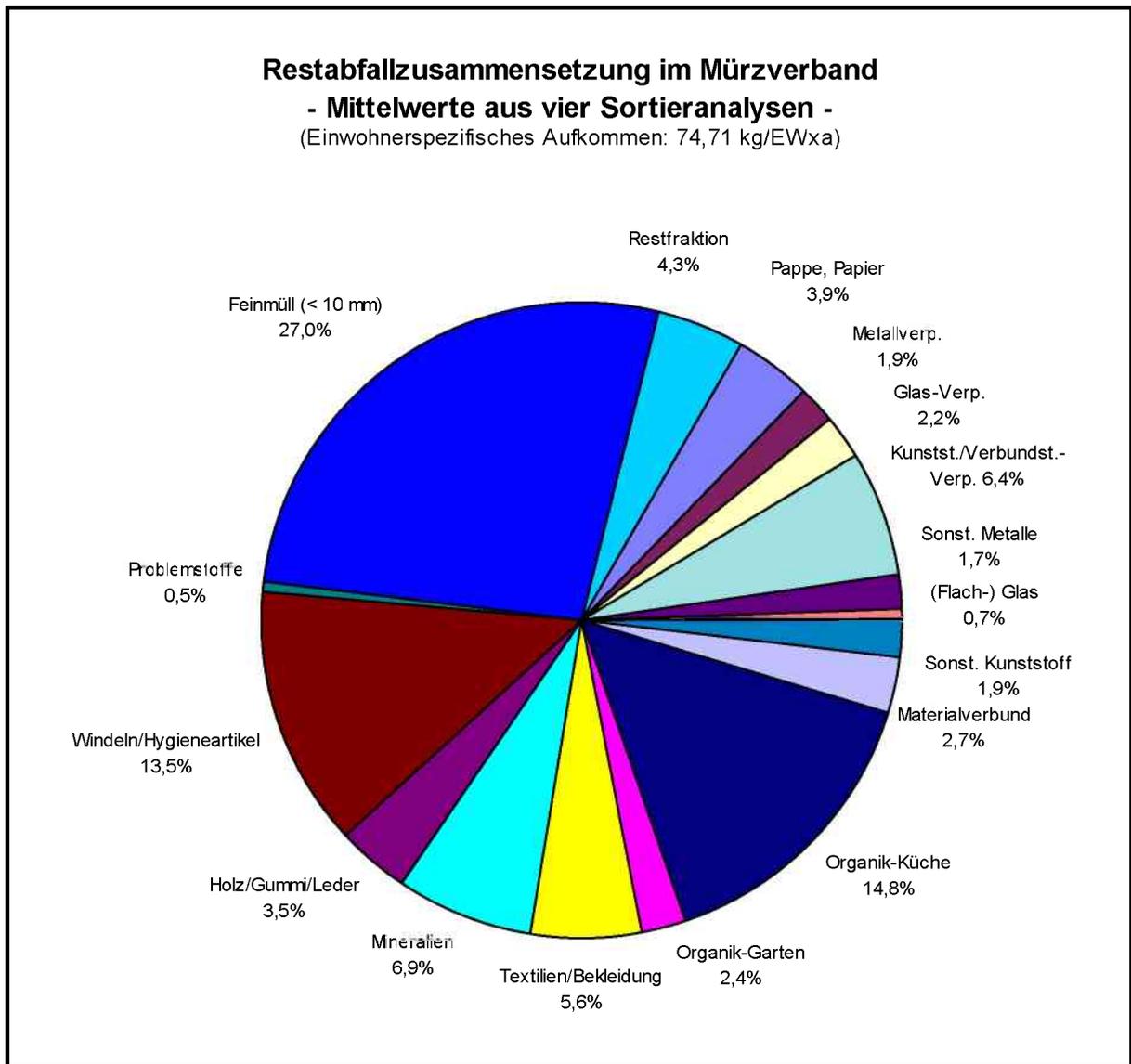


Abbildung 6.7: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei den vier Sortieranalysen, (Angaben in Massenprozent)

Die heizwertreichen Fraktionen (Kunststoff-/Verbundstoff-Verpackungen, sonst. Kunststoffe, Materialverbund und Holz/Gummi/Leder), die biologisch praktisch nicht abbaubar sind, sind mit 14,5 M-%. vertreten.

6.1.3 Auswertung der Ergebnisse

6.1.3.1 Jährliches Restmüllaufkommen und dessen Zusammensetzung

Für die 4 Sortierdurchgänge wurde ein (gewichtetes) arithmetisches Mittel von 74,71 kg/EW*a für den Haushaltsrestmüll im Mürzverband ermittelt, dies sind etwa 20 kg/EW*a bzw. 21 Massen-% weniger als im Durchschnitt der Jahre 1994 bis 1996. Diese Fehlmenge von jährlich ca. 2.200 Mg läßt sich, neben den nicht vermeidbaren statistischen Unsicherheiten, in erster Linie auf die bei der Beprobung nicht berücksichtigten haumüllähnlichen Gewerbeabfälle zurückführen. Im Einzugsgebiet der MBRA Allerheiligen gibt es z.B. über 4.000 Kleinst- und Kleinbetriebe mit 1 bis 5 Beschäftigten, die i.d.R. an die kommunale Restmüllentsorgung angeschlossen sind.

Tabelle 6.4: Restmüllzusammensetzung des Mürzverbandes im Jahresdurchschnitt

AWV Mürzverband 1996			
Fraktion	[Mg/a]	[kg/EW*a]	(in M-%)
1 Pappe, Packpapier	261,992	2,4	2,5%
2 Druckerzeugnisse	148,866	1,3	1,4%
3 Ferromagn. Metallverp.	113,944	1,0	1,1%
4 Nichtferromagn. Metallverp.	82,228	0,7	0,8%
5 Glas-Verpackungen	229,554	2,1	2,2%
6 Kunststoff-Verpackungen	401,177	3,6	3,8%
7 Verbundstoff-Verpackungen	273,151	2,5	2,6%
8 Ferromagn. Metalle	153,193	1,4	1,5%
9 Nichtferromagn. Metalle	24,884	0,2	0,2%
10 (Flach-) Glas	69,980	0,6	0,7%
11 Sonst. Kunststoff	203,978	1,8	1,9%
12 Materialverbund	283,262	2,6	2,7%
13 Organik-Küche	1.552,864	14,0	14,8%
14 Organik-Garten	254,962	2,3	2,4%
15 Textilien/Bekleidung	582,911	5,3	5,6%
16 Mineralien	726,978	6,6	6,9%
17 Holz/Gummi/Leder	367,617	3,3	3,5%
18 Windeln/Hygieneartikel	1.410,044	12,7	13,5%
19 Problemstoffe	47,380	0,4	0,5%
20 Feinmüll (< 10 mm)	2.833,374	25,6	27,0%
21 Restfraktion	455,262	4,1	4,3%
Σ Gesamt	10.477,6	94,7	100,0%

Geht man davon aus, daß die Zusammensetzung dieser betrieblichen Restabfälle in etwa der Zusammensetzung des Restmülls der privaten Haushalte entspricht, so ergibt sich für den an die MBRA Allerheiligen angelieferten kommunalen Restmüll die in Tabelle 6.4 aufgeführte prozentuale und einwohnerspezifische Zusammensetzung. Die einwohnerspezifische Restmüllmenge fällt mit ca. 95 kg/EW*a relativ gering aus und läßt darauf schließen, daß die Maßnahmen zur getrennten Sammlung von Altstoffen inzwischen flächendeckend umgesetzt worden sind und deshalb künftig keine wesentliche Veränderungen der Restmüllmenge zu erwarten sind.

6.1.3.2 Erfassungsquoten für Altstoffe

Auf Basis der Abfalldaten aus Kapitel 5.2 und der ermittelten Restmüllzusammensetzung lassen sich die derzeitigen Erfassungsquoten für die verwertbaren Abfälle ermitteln. Diese sollen Aufschluß darüber geben, ob künftig wider Erwarten doch noch mit erheblichen Änderungen der Restmüllzusammensetzung im Mürzverband zu rechnen ist. Die Ergebnisse können Tabelle 6.5 entnommen werden.

Insgesamt fallen im Mürzverband jährlich rund 26.675 Mg Haushaltsabfälle an. Dies entspricht einem Pro-Kopf-Aufkommen von 241,2 kg/EW×a.¹ Der Anteil des Restmülls beträgt 39,3 %; es werden also gut 60 % der Haushaltsabfälle durch getrennte Sammelsysteme erfaßt. Biogene Abfälle (25,2 M-%) und das Altpapier (21,3 M-%) machen den weitaus größten Anteil der Haushaltsabfälle aus. Auf etwa die Hälfte beläuft sich der Feinmüllanteil (10,6 M-%), dicht gefolgt von Altglas (10,0 M-%) und den Verpackungsmaterialien aus Kunststoff und Verbundstoff (8,4 M-%) sowie von Altmetall (5,0 M-%).

Die Angaben über das Aufkommen an biogenen Abfällen berücksichtigen allerdings nicht die erheblichen Mengen, die durch die Einzel- und Gemeinschaftskompostierung erst gar nicht den Kommunen angedient werden. Aufgrund des Anschlußgrades von knapp 50 % der Einwohner an die Bioabfallsammlung müßte die getrennt erfaßte Bioabfallmenge von 4.900 Mg mindestens verdoppelt werden, um das tatsächlich abgeschöpfte Biomaterial annähernd zu erfassen. Auch die separat an die Abfallbehandlungsanlage in Allerheiligen angelieferten Grünabfallmengen, die hauptsächlich im Frühjahr anfallen, sind in der Angabe von 4.912 Mg/a an getrennt erfaßten biogenen Abfällen noch nicht enthalten.

Tabelle 6.5: Das Abfallaufkommen im Mürzverband unter Einbeziehung der getrennt erfaßten Altstoffe und deren Erfassungsquote

¹ Bei Berücksichtigung des Aufkommens an Sperrmüll (3.520 Mg), Straßenkehricht (1.321 Mg) und "sonstigen Abfällen" (53 Mg), die 1996 im Mürzverband angefallen sind, erhöht sich die Gesamtabfallmenge auf 31.569 Mg/a bzw. 285,5 kg/EW×a.

	Getrennt erfaßte Wert- und Altstoffe		Aufkommen im Restabfall		Σ Wert- und Altstoffe und Restabfall			Erfassungsquote
	[Mg/a]	[kg/EW*a]	[Mg/a]	[kg/EW*a]	[Mg/a]	[kg/EW*a]	(in M-%)	
Biogene Abfälle	4.912,0	44,4	1.807,8	16,3	6.719,8	60,8	25,2%	73,1%
Altpapier	5.269,3	47,6	410,9	3,7	5.680,2	51,4	21,3%	92,8%
Altglas	2.436,5	22,0	229,6	2,1	2.666,0	24,1	10,0%	91,4%
Leichtverpackungen	1.558,6	14,1	674,3	6,1	2.232,9	20,2	8,4%	69,8%
Metallverpackungen	522,2	4,7	196,2	1,8	718,4	6,5	2,7%	72,7%
Alttextilien	57,5	0,5	582,9	5,3	640,5	5,8	2,4%	9,0%
Altmetall	1.149,6	10,4	178,1	1,6	1.327,7	12,0	5,0%	86,6%
Problemstoffe	291,7	2,6	47,4	0,4	339,1	3,1	1,3%	86,0%
Feinmüll	-	-	2.833,4	25,6	2.833,4	25,6	10,6%	-
Sonst. Bestandteile*	-	-	3.517,1	31,8	3.517,1	31,8	13,2%	-
Summe	16.197,4	146,5	10.477,6	94,7	26.675,0	241,2	100%	-

* Sonst. Bestandteile: sonstige Sortierfraktionen im Restmüll – Windeln/Hygieneartikel, Mineralien, Holz/Gummi/Leder, Materialverbund, Sonstiger Kunststoff, (Flach-) Glas und Restfraktion

Die Mengen der getrennt gesammelten Textilien in den Haushaltsabfällen liegen mit hoher Wahrscheinlichkeit über den in den Unterlagen des Mürzverbandes dokumentierten Zahlen (58 Mg/a), da die Daten von den Sammlern – karitative Organisationen (z. B. Rotes Kreuz), gewerbliche Abfuhrunternehmen – häufig nicht an den Abfallwirtschaftsverband weitergeleitet werden. Das Aufkommen von Altkleidern im Restmüll (583 Mg/a) ist immerhin um den Faktor 10 höher und macht einen Anteil von 5,3 M-% aus. Hier dürfte noch ein Altstoffverwertungspotential vorliegen, denn auch aus abgetragener Kleidung lassen sich noch Putzlappen oder ähnliches herstellen.

Der Anteil aller Verpackungsmaterialien (incl. Altpapier und Altglas) an den Haushaltsabfällen beträgt insgesamt 42,4 Gew.-% (11.300 Mg/a). Von dieser Menge werden durch das ARA-System 86,6 Gew.-% erfaßt. Die besten Erfassungsquoten weisen das Altpapier und das Altglas von rund 93 bzw. 91 Gew.-% auf, während die Metall- und Leichtverpackungen bei 73 bzw. 70 Gew.-% liegen. Durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit und gegebenenfalls notwendige Verbesserung bei der Sammlung (z.B. bereitgestelltes Behältervolumen), können künftig auch für die Metall- und Leichtverpackungen Erfassungsquoten zwischen 80 und 90 % erreicht werden.

Die vom Gesetzgeber ab dem 1.12.96 durch die in § 4 (1) ZielVO Verpackungsabfälle [64] zur VerpackVO 1996 [65] festgelegten "Anteile der im österreichischen Bundesgebiet in Verkehr gesetzten Menge der jeweiligen Packstoffe", die "in eine Anlage zur stofflichen Verwertung nach dem Stand der Technik einzubringen" sind, dürften dadurch sicherlich erreicht werden.² Eine Unterscheidung innerhalb der ARGEV-Leichtfraktion in Kunststoffe,

² Die in § 4 (1) ZielVO genannten Verwertungsquoten für die Packstoffe sind folgende:

1. Papier, Karton, Pappe und Wellpappe: 60 %;
2. Glas: 70 %;

Getränkeverpackungen und sonstige Materialverbunde (wie der Gesetzgeber dies in den o.g. Vorschriften vorsieht) wurde nicht vorgenommen, da entsprechend aufgeschlüsseltes Datenmaterial seitens des Mürzverbandes nicht zur Verfügung stand.

6.2 Laboranalysen

6.2.1 Konzeption und Durchführung

Wie bereits in Kapitel 4.6 erläutert, stellt die Einhaltung des H_o -Grenzwertes der DVO die entscheidende Anforderung für die Deponierung von mechanisch-biologisch behandelten Restabfällen dar. Um die durchschnittliche H_o -Fracht des Restmülls berechnen zu können, wurden die heizwertrelevanten Fraktionen mit Ausnahme der Problemstoffe (Sicherheitsgründe) und dem Materialverbund (Aufbereitungsprobleme) im Rahmen der Restmüllsortierungen analysiert. Da die organischen Summenparameter TOC und Glühverlust in der Praxis wesentliche Bezugsgrößen darstellen, wurden auch diese bestimmt. Die Konzeption und Durchführung der durchgeführten Laboranalysen sind ausführlich in [42] beschrieben, so daß hier nur die wesentlichen Punkte zusammengefaßt werden. Folgende Fraktionen wurden untersucht:

- Pappe, Packpapier (Fraktion 1)
- Druckerzeugnisse (Fraktion 2)
- Kunststoffverpackungen (Fraktion 6)
- Verbundstoffverpackungen (Fraktion 7)
- Sonstiger Kunststoff (Fraktion 11)
- Organik-Küche (Fraktion 13)
- Organik-Garten (Fraktion 14)
- Textilien/Bekleidung (Fraktion 15)
- Holz/Gummi/Leder (Fraktion 17)
- Windeln/Hygieneartikel (Fraktion 18)
- Feinmüll (< 10 mm) (Fraktion 20)
- Restfraktion (Fraktion 21)

Nach der Sortierung jedes Restmüllcontainers und Gewichtbestimmung für die einzelnen Fraktionen, wurden die Proben gezogen. Dabei ist grundsätzlich darauf zu achten, daß ein repräsentativer Querschnitt der jeweiligen Sortierfraktion erfaßt wird, d.h. eine gewichtsproportionale Beprobung der unterschiedlichen Materialien vorgenommen wird.

3. Metalle:	50 %
4. Kunststoffe:	20 %
5. Getränkeverbundkarton:	20 %
6. sonstige Materialverbunde:	10 %

Die in Tabelle 6.5 dargestellten Erfassungsquoten können nicht mit den Verwertungsquoten der ZielVO gleichgesetzt werden, da erst das Produkt aus Erfassungsgrad und Sortierquote die Verwertungsquote ergibt. Diese liegt damit zwangsläufig geringer als die Erfassungsquote, je nach Qualität bzw. Sortenreinheit des gesammelten Altstoffmaterials.

Nach dem Transport in das umweltanalytische Labor des IED wurden je Fraktion 5 Stichproben zu einer Sammelprobe vereinigt, so daß für jede der 4 Sortierkampagnen 5 Sammelproben je Sortierfraktion untersucht worden sind. Eine Ausnahme ist die Feinmüllfraktion (< 10 mm), die aufgrund des hohen Anteils im Restmüll (über 27 M-%), der inhomogenen Zusammensetzung (generell und im Jahresverlauf) und der evtl. Möglichkeit zur direkten Deponierung von besonderem Interesse ist. Deshalb wurden für diese Fraktion bei den Sortierkampagnen (Ausnahme: Herbst 1996) alle 25 Stichproben auf die 3 Parameter H_o , TOC und Glühverlust untersucht. Insgesamt sind im Rahmen der 4 Sortierkampagnen weit über 300 Proben untersucht worden, um repräsentative Analysenwerte zu erhalten.

Schon bei der Probenahme war zu erkennen, daß sich die Proben von Container zu Container hinsichtlich der Zusammensetzung (variiierende Anteile bestimmter Materialien innerhalb einer Fraktion) sehr stark unterscheiden können. Auch der differierende Verschmutzungsgrad der einzelnen Fraktionen, bedingt durch den Wassergehalt des Abfalls und durch die Art, Menge und Verteilung der Feinfraktion (Asche, Katzenstreu) im Container, ließ eine größere Spannweite der fraktionsspezifischen Untersuchungsergebnisse erwarten.

Nach der Wassergehaltbestimmung durch Trocknung der Proben bis zur Gewichtskonstanz bei 50 °C (Kunststoff- und Verbundstoffverpackungen), bzw. bei 80 °C (Sonstiger Kunststoff) oder 105 °C (alle anderen Fraktionen) wurden die Proben mittels mehrstufiger Zerkleinerung durch verschiedene Mühlen (z.B. Schneidmühle, Ultrazentrifugemühle) auf eine Korngröße < 1 mm gebracht und die Analysen gemäß den einschlägigen Analysenvorschriften durchgeführt (siehe auch Anhang B).

6.2.2 Analyseergebnisse

In den folgenden Abschnitten sind die fraktionsspezifischen H_o -Meßwerte und die Ergebnisse der Schadstoffuntersuchungen für die Feinmüllfraktion (< 10 mm) dargestellt. Die Meßdaten der Glühverlust- und TOC-Analysen können Anhang F entnommen werden.

6.2.2.1 Oberer Heizwert

In der Tabelle 6.6 sind die Mittelwerte der jeweils 5 Analysen pro Fraktion und Sortierkampagne einander gegenübergestellt. Mit Ausnahme der Fraktionen sonst. Kunststoffe und Holz/Gummi/Leder errechnen sich die spezifischen Jahresmittelwerte auf der Basis von 20 Einzelergebnissen, so daß eine ausreichende statistische Absicherung der Daten gewährleistet ist.

Es überrascht nicht, daß bei den H_o -Bestimmungen (wie auch bei den Glühverlust- und TOC-Untersuchungen) die beiden Kunststofffraktionen mit einem H_o deutlich über 30.000 kJ/kg TS die höchsten Werte aufweisen. Der Unterschied zwischen den Kunststoffen und den

restlichen Fraktionen ist relativ hoch; das gleiche Bild ergibt sich für die Parameter Glühverlust und TOC (siehe auch Anhang F). Die beiden Fraktionen Holz/Gummi/Leder und Verbundstoffverpackungen sind nach den Kunststoffen die heizwertreichsten Fraktionen mit größenordnungsmäßig etwa 23.000 bzw. 22.000 kJ/kg TS.

Sämtliche Mittelwerte der Sammelproben aus der Feinfraktion (auch im Sommer) sind geringer als der in der Deponieverordnung (für mechanisch-biologisch behandelten Restmüll!) geforderten Grenzwert von 6.000 kJ/kg TS. Da dieser Parameter von besonderem Interesse ist, wurden zusätzlich Untersuchungen der 25 einzelnen Feinmüllproben von Sommer-, Winter- und Frühlingssortierung durchgeführt. Aus Kapazitätsgründen mußte auf die Untersuchung der Proben aus der Herbstsortierung verzichtet werden, diese dürften jedoch in etwa zwischen den Sommer- und Frühlingswerten liegen (siehe auch Tabelle 6.7).

Tabelle 6.6: Mittelwerte der Untersuchungen des oberen Heizwertes für die ausgesuchten Fraktionen der einzelnen Sortieranalysen

oberer Heizwert [kJ/kg TS]						
Fraktion		Sommer	Herbst	Winter	Frühling	arithm. Mittelwert
1	Pappe/Packpapier	15.300	14.300	15.000	15.900	15.100
2	Druckerzeugnisse	15.400	13.300	13.600	13.500	14.000
6	Kunststoffverpackung	34.500	39.300	35.400	39.400	37.100
7	Verbundstoffverp.	20.500	24.400	20.800	23.500	22.300
11	sonst. Kunststoff	n.b.	33.100	34.900	36.000	34.700
13	Organik-Küche	18.300	20.400	20.500	19.900	19.800
14	Organik-Garten	15.900	16.800	17.500	17.100	16.800
15	Textilien/Bekleidung	18.500	20.100	20.600	20.200	19.900
17	Holz/Gummi/Leder	n.b.	23.300	23.200	23.500	23.300
18	Windeln/Hygieneartikel	17.900	17.500	18.900	16.900	17.800
20	Feinfraktion	5.100	4.700	2.700	3.500	4.000
21	Restfraktion	15.900	14.500	17.900	15.700	16.000

Das arithmetische Mittel der einzelnen Feinmüllproben liegt für den oberen Heizwert der 3 untersuchten Sortierkampagnen jeweils unter 6.000 kJ/kg TS. Sämtliche Feinmüllproben der Wintersortierung liegen unter 6.000 kJ/kg TS, dagegen weisen die Proben aus der Sommer- und Frühlingssortierung teilweise auch Analysenwerte über 10.000 kJ/kg TS auf. Dies läßt sich durch die geringen Ascheanteile aus Ofenheizungen und damit relativ hohen Gehalte an heizwertreichen Stoffen (z.B. Inhalte von Staubsaugerbeuteln) erklären.

Tabelle 6.7: Statistische Parameter der Untersuchungen zum H_o für die 75 Feinmüllproben der einzelnen Container

oberer Heizwert [kJ/kg TS]				
	Sommer	Herbst	Winter	Frühling
Arithm. Mittel	5.200	n.b.	2.000	3.600
Standardabweichung	3.030	n.b.	1.670	2.580
Median	4.900	n.b.	1.300	3.400
Minimum	1.000	n.b.	< 500	< 500
Maximum	11.500	n.b.	5.900	10.100

6.2.2.2 Schadstoffgehalte

Für jede Sortierkampagne wurden die Schadstoffgesamtgehalte und Schadstoffgehalte im Eluat der Feinmüllfraktion (< 10 mm) analysiert, da im Feinmüll das größte Schadstoffpotential des Restmülls zu erwarten ist. Hierzu wurden 4 repräsentative Mischproben aus allen Feinmüllproben der einzelnen Container (25 Container pro Sortieranalyse) hergestellt und die Parameter der Deponieverordnung, Anhang 1, Tabelle 7 und 8 bestimmt.

Tabelle 6.8: Gesamtschadstoffgehalte in der Feinmüllfraktion (< 10 mm)

<i>Schadstoffuntersuchungen der Feinmüllproben gemäß Deponieverordnung Anhang 1 Tabelle 7 (Gesamtgehalte)</i>						
Gesamtgehalte	Einheit	Grenzwerte	Sommer 96	Herbst 96	Winter 96/97	Frühling 97
Arsen	[mg/kg]	500	6,2	7,2	9,5	12,8
Barium	[mg/kg]	10.000	402	3.270	840	1.210
Blei	[mg/kg]	3.000	289	203	155	222
Cadmium	[mg/kg]	30	7,2	2,8	0,7	1,7
Chrom gesamt	[mg/kg]	5.000	281	272	367	219
Cobalt	[mg/kg]	500	29,0	4,4	8,4	30,5
Kupfer	[mg/kg]	5.000	314	217	171	178
Nickel	[mg/kg]	2.000	273	120	234	168
Quecksilber	[mg/kg]	20	1,6	0,4	1,9	1,3
Silber	[mg/kg]	50	5,0	1,0	0,8	0,6
Zink	[mg/kg]	5.000	699	1.140	625	377
TOC	[g/kg]	50	390	177	57	99
Summe Kohlenwasserstoffe	[mg/kg]	20.000	1.900	2.110	2.000	2.540
POX	[mg/kg]	1.000	< 0,001	0,005	0,004	0,004
PAK	[mg/kg]	100	32,7	0,41	0,75	3,2

Die Ergebnisse der Analysen können den Tabellen 6.8 und 6.9 entnommen werden. Die Grenzwerte für die Gesamtschadstoffgehalte können bis auf den TOC problemlos eingehalten werden.

Tabelle 6.9: Schadstoffgehalte im Eluat der Feinmüllfraktion (< 10 mm)

Schadstoffuntersuchungen der Feinmüllproben gemäß Deponieverordnung Anhang 1 Tabelle 8 (Eluatgehalte)						
Eluat		Grenzwerte	Sommer 96	Herbst 96	Winter 96/97	Frühling 97
pH-Wert		6 bis 13	7,1	7,6	7,6	8,2
Abdampfrückstand	[g/kg]	100	5,4	42,8	39,6	28,0
Chrom VI	[mg/kg]	20	< 0,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Ammonium	[mg/kg]	10.000	960,0	416,0	1.030	2.336
Nitrit	[mg/kg]	1.000	0,1	< 0,01	85,1	< 0,5
Cyanid	[mg/kg]	20	< 0,1	< 0,02	< 0,01	< 0,01
Fluorid	[mg/kg]	500	10	< 0,2	10	4,7
Sulfat	[mg/kg]	25.000	7.560	25.900	21.100	10.500
EOX	[mg/kg]	30	n.n.	n.b.	n.b.	n.b.

Für das Eluat ist nur eine marginale Grenzwertüberschreitung um 3,6 % für den Sulfatgehalt der Herbstprobe feststellbar. Der Mittelwert der 4 Proben liegt mit 16.290 mg Sulfat pro kg TS um 35 % unterhalb des Grenzwertes. Extrahierbare organische Halogenverbindungen im Eluat konnten bei der Probe der Sommersortierung nicht nachgewiesen werden. Auf diesen Parameter wurde daraufhin bei den folgenden Analysen verzichtet. Eine Grenzwertüberschreitung bei diesem Parameter ist nicht zu erwarten, da auch die Gehalte an ausblasbaren organischen Halogenverbindungen in der Original-substanz als sehr gering einzustufen sind (siehe auch Kapitel 4.6.2).

6.2.3 Auswertung der Ergebnisse

6.2.3.1 Organischer Anteil und oberer Heizwert der Sortierfraktionen

Von den 21 Sortierfraktionen sind 12 Fraktionen hinsichtlich ihres organischen Anteils auf Glühverlust, oberen Heizwert und TOC untersucht worden. Die errechneten Jahresmittelwerte sind in Tabelle 6.10 zusammengestellt. Für den Feinmüll werden zusätzlich die Mittelwerte der einzelnen Sortiereranalysen angeführt, da hier im Gegensatz zu den anderen Fraktionen signifikante Unterschiede im Jahresverlauf festgestellt wurden.

Die ermittelten geringen Wassergehalte insbesondere für die Organikfraktionen zwischen 50,6 % (Garten) und 56,5 % (Küche) lassen sich teilweise durch Anhaftungen von anorganischem Feinmüll und die langen Abfuhrintervalle von i.d.R. 4 Wochen (Teiltrocknung des Restmülls) erklären. Darüber hinaus war in vielen Fällen aus Kapazitätsgründen eine mehrtägige Lagerung der Proben (bei ca. 10 bis 15 °C) in der Probenkammer des IED erforderlich, was ebenfalls zu einer Absenkung des Wassergehaltes geführt haben kann.

Tabelle 6.10: TS, GV, TOC und H_o der Sortierfraktionen als Jahresmittelwerte

	Fraktion	TS	GV	TOC	Ho
Nr	Bezeichnung	[%]	[% TS]	[g/kg TS]	[kJ/kg TS]
1	Pappe/Packpapier	83,7	86,8	401	15.100
2	Druckerzeugnisse	83,8	82,3	381	14.000
6	Kunststoffverpackungen	90,8	93,7	743	37.100
7	Verbundstoffverpackungen	85,9	85,0	461	22.300
11	sonstiger Kunststoff	96,6	95,3	646	34.700
12	Materialverbund ¹	~ 85	~ 85	~ 460	~ 22.000
13	Organik-Küche	43,5	86,6	458	19.800
14	Organik-Garten	49,4	84,1	431	16.800
15	Textilien	82,7	94,2	483	19.900
17	Holz/Gummi/Leder	88,4	92,7	532	23.300
18	Windeln/Hygieneartikel	62,2	92,4	432	17.800
20	Feinfraktion (Sommer)	85,7	30,8	184	5.100
20	Feinfraktion (Herbst)	80,0	24,0	198	4.700
20	Feinfraktion (Winter)	82,0	18,5	96	2.700
20	Feinfraktion (Frühling)	85,4	21,8	122	3.500
20	Feinfraktion (gesamt)	83,3	23,8	150	4.000
21	Restfraktion	71,2	68,4	408	16.000

¹ Materialverbund: Werte geschätzt (vgl. Text)

Für den Materialverbund mußte der H_o abgeschätzt werden, da sich die wenigen vorhandenen Literaturangaben auf andere, teilweise zusammengefaßte Stoffgruppen (Altpapier, Vegetabilien, Altkunststoffe, Kunststoffolien und -formkörper etc.) beziehen. Für den unteren Heizwert (H_u), der hier allerdings nicht betrachtet wird, findet sich in der Literatur erheblich mehr Datenmaterial, da es sich bei diesem Parameter um eine für Abfallverbrennungsanlagen technisch relevante Größe handelt. Der H_u kann allenfalls vergleichsweise zur Überprüfung der Größenordnung herangezogen werden.

Die in Tabelle 6.10 enthaltenen Angaben für die Fraktion Materialverbund, auf dessen Analyse aufgrund der überaus inhomogenen Zusammensetzung (Teppichreste, Spielzeug, Regenschirme und andere, häufig großformatige Gebrauchsgegenstände) verzichtet wurde, orientieren sich an den Glühverlust- und TOC-Werten der Verbundstoff-verpackungen.

Tabelle 6.10 enthält keine Angaben für die restlichen 8 Sortierfraktionen, die nicht analysiert worden sind. Sieben dieser Abfallstoffgruppen – Glas, Metalle, Mineralien – gelten als Inertmaterialien und dürften, bis auf anhaftende organische Verschmutzungen oder Fehlwürfe, keinen Beitrag zur organischen Fracht des Restmülls liefern. Ihr Glühverlust, TOC-Gehalt und H_o werden daher gleich Null gesetzt. Auch die Problemstoffe wurden nicht auf Glühverlust und TOC untersucht, hier spielten Sicherheitsaspekte eine Rolle. Aufgrund des geringen Aufkommens im Restmüll von 0,5 M-% ist der Beitrag der Problemstoffe an der

gesamten organischen Fracht jedoch zu vernachlässigen.

6.2.3.2 Organische Fracht des Restmülls

Mithilfe der in Kapitel 6.1.3.1 berechneten durchschnittlichen Zusammensetzung des Restmülls für den Mürzverband erfolgt nun eine näherungsweise Berechnung der gesamten organischen Fracht des Restmüll, angegeben als Glühverlust, TOC und H_o .

In einem ersten Rechenschritt wird der angelieferte "feuchte" Restmüll auf Trockensubstanz (TS) umgerechnet. Dabei wird für die nicht analysierten Inertmaterialien (Metallverpackungen, Metalle, Glas, Mineralien: Fraktionen Nr. 3, 4, 5, 8, 9, 10 und 16) ein Wassergehalt von 5 % angenommen. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Wassergehalt des gesamten Restmülls (10.478 Mg/a) von 24,4 % bzw. ein Trockensubstanzanteil von 75,6 %. Die gesamte jährlich angelieferte Restmüllmasse beläuft sich damit auf rund 7.900 Mg/a TS. Diese Ergebnisse, differenziert für die 21 Sortierfraktionen der Restmüllsortierung, können im Anhang G, Tabelle G1 entnommen werden. Hier ist anzumerken, daß der reale durchschnittliche Wassergehalt des Restmülls im Mürzverband zwischen 30 und 35 % liegt und die gesamte Trockenmasse des Restmülls somit nur etwa 7.000 Mg/a (bei WG von 33 %) beträgt (siehe auch Kapitel 8.1).

Die Restmüllfraktionen lassen sich nach ihrem organischen Gehalt in verschiedene Hauptgruppen einteilen. Aus der Tabelle 6.11 geht hervor, daß die 12 Fraktionen mit einem hohen Anteil an organischer Substanz – Papier/Pappe, Kunststoffe, Verbundstoffe, Vegetabilien, Textilien, Holz/Gummi/Leder, Windeln/Hygieneartikel, Restfraktion – aufsummiert einen Anteil von rund 59 M-% am gesamten (feuchten) Restmüll bzw. fast 53 M-% der Restmülltrockensubstanz ausmachen. Die Inertstoffe – Glas, Metalle, Mineralien – ergeben zusammen mit dem minimalen Anteil der Problemstoffe (0,4 M-%) einen Anteil am Restmüll von fast 14 M-% (feucht), entsprechend rund 17 M-% bezogen auf TS. Der Rest von 27 M-% bzw. fast 30 M-% TS entfällt auf den Feinmüll.

Auf Basis der spezifischen Anteile der Sortierfraktionen an der gesamten TS des Restmülls können die fraktionsspezifischen Beiträge zur gesamten organischen Fracht, gemessen als Glühverlust, TOC und oberer Heizwert berechnet werden. Tabelle G2 im Anhang G enthält die Analysenergebnisse der einzelnen Fraktionen (bei Materialverbund: Schätzwert) sowie die Berechnung der organischen Gesamtfracht (GV, TOC, H_o).

Die Summe aus dem "Beitrag zur Gesamtfracht" ergibt schließlich den zu errechnenden Durchschnittswert für den Restmüll. Da der Feinmüll sowohl hinsichtlich des Aufkommens im Restmüll als auch aufgrund seines relativ niedrigen H_o eine Sonderstellung einnimmt, wurden die Frachten an organischen Parametern beim Feinmüll jeweils mit dessen jahreszeitspezifischen Analysenwerten berechnet und nicht mit den Durchschnittswerten, wie bei den anderen Fraktionen.

Die Verteilung der organischen Frachten auf die Abfallhauptgruppen I bis III kann Tabelle 6.11 (Glühverlust) und Tabelle 6.12 (TOC und H_o) entnommen werden. Die Tabellen enthalten auch den sich durchschnittlich für die jeweilige Abfallhauptgruppe ergebenden Analysenwert für die Parameter GV, TOC und H_o .

Tabelle 6.11: Trockensubstanz und Glühverlust-Frachten der Abfallgruppen

Fraktion		Jahresrestmüllaufkommen				TS	Glühverlust - GV		
		absolut (feucht)	Anteil an Gesamtaufkommen	absolut (TS)	Anteil an Gesamtaufkommen	Durchschnitt	Durchschnitt	Beitrag zur Gesamtfracht	Anteil an Gesamtfracht
Nr.	Bezeichnung	[Mg/a]	(in M-%)	[Mg TS/a]	(in M-% TS)	[%]	[% TS]	[% TS]	(in % d. GV)
Σ Gesamtfracht		10.477,6	100%	7.925,3	100%	75,6	-	53,6%	100%
I									
Σ org. Substanz-haltige Fraktionen (Nr. 1, 2, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21)									
(n=12)	Σ o. S.-haltige Fraktionen	6.196,1	59,1%	4.189,5	52,9%	66,3	88,4%	46,7%	87,2%
II									
Σ inerte Fraktionen (Nr. 3, 4, 5, 8, 9, 10, 16) und Problemstoffe (19)									
(n=8)	Σ inerte Fraktionen	1.448,1	13,8%	1.375,7	17,4%	95,0	0	0	0%
III									
Σ Feinfraktion		2.833,4	27,0%	2.360,0	29,8%	85,0	23,8%	6,9%	12,8%

Die Hauptgruppe I, die die Fraktionen mit einem bedeutenden Anteil an organischer Substanz umfaßt, ist mit einem Massenanteil am Restmüll von ca. 53 M-% TS verantwortlich für den Eintrag von 87 % des Glühverlustes, 86 % des TOC und 91 % des H_o . Der errechnete Durchschnittswert für diese Abfallstoffgruppen beträgt für den Glühverlust 88,4 % TS, für den TOC-Gehalt 485 g/kg TS und für den Brennwert rund 21.300 kJ/kg TS.

Die nach der Konvention als "inert" bezeichneten Materialien (Hauptgruppe II) haben einen Massenanteil von über 17 % TS am Restmüll und liefern keinen Beitrag zu den Gesamtfrachten. Dies ist in den Tabellen durch den Rechenwert "0" für den Durchschnitt bzw. "0 %" für den Beitrag zu und für den Anteil an der Gesamtfracht kenntlich gemacht. Der Feinmüll (< 10 mm) als einzige Fraktion der Hauptgruppe III verursacht mit einem Massenanteil von 29,8 M-% TS am Restmüll rund 13 % der Glühverlustfracht, 14 % der TOC-Fracht sowie 9 % des H_o .

Tabelle 6.12: TOC- und H_o -Frachten der Abfallgruppen³

³ Der H_o von Feinmüll wird hier im Durchschnitt mit 3.800 kJ/kg angegeben. Dabei ist berücksichtigt, daß im Winter mehr Feinmüll (mit geringerem H_o) anfällt als im Sommer (mit höherem H_o). Das arithmetische Mittel der H_o -Proben für die 4 Sortieranalysen ist dagegen an anderer Stelle mit 4.000 kJ/kg angegeben, wobei der o.g. Umstand allerdings nicht berücksichtigt ist.

Fraktion		TOC-Gehalt			Brennwert - H _o		
		Durchschnitt	Beitrag zur Gesamtfracht	Anteil an Gesamtfracht	Durchschnitt	Beitrag zur Gesamtfracht	Anteil an Gesamtfracht
Nr.	Bezeichnung	[g/kg TS]	[g/kg TS]	(in % d.TOC)	[kJ/kg TS]	[kJ/kg TS]	(in % d. H _o)
Σ Gesamtfracht		-	298,6	100%	-	12.405	100%
I							
Σ org. Substanz-haltige Fraktionen (Nr. 1, 2, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21)							
(n=12)	Σ o. S.-haltige Fraktionen	485	256	85,9%	21.323	11.272	90,9%
II							
Σ inerte Fraktionen (Nr. 3, 4, 5, 8, 9, 10, 16) und Problemstoffe (19)							
(n=8)	Σ inerte Fraktionen	0	0	0%	0	0	0%
III							
Σ Feinfraktion		120,0	42,2	14,1%	3.800	1.133	9,1%

Damit ergibt sich für den Restmüll des Müzverbandes eine durchschnittliche organische Gesamtfracht, die durch die 3 Summenparameter Glühverlust, TOC und oberer Heizwert beschrieben werden kann:

- Glühverlust: 53,6 % TS
- TOC: 299 g/kg TS
- H_o: 12.405 kJ/kg TS

Vor dem Hintergrund der Deponieverordnung ist die Aufteilung der gesamten H_o-Fracht von besonderem Interesse. Die Anteile der relevanten können Abbildung 6.8 entnommen werden. Die analogen Graphiken für die Parameter Glühverlust und TOC sind in Anhang G (Abb. G1 und 2) enthalten. Überraschend ist, daß nicht die Küchenorganik den höchsten Anteil zur H_o-Gesamtfracht (14 %) beisteuert sondern die Fraktion Windeln und Hygieneartikel mit 16 %. Die Kunststoff-Verpackungen haben trotz des relativ geringen Gewichtsanteil ebenfalls einen Anteil von 14 % am oberen Heizwert des gesamten Restmülls. Der H_o-Anteil der anderen relevanten Fraktionen liegt zwischen 10 % (Textilien) und 2 % (Gartenorganik bzw. Druckerzeugnisse).

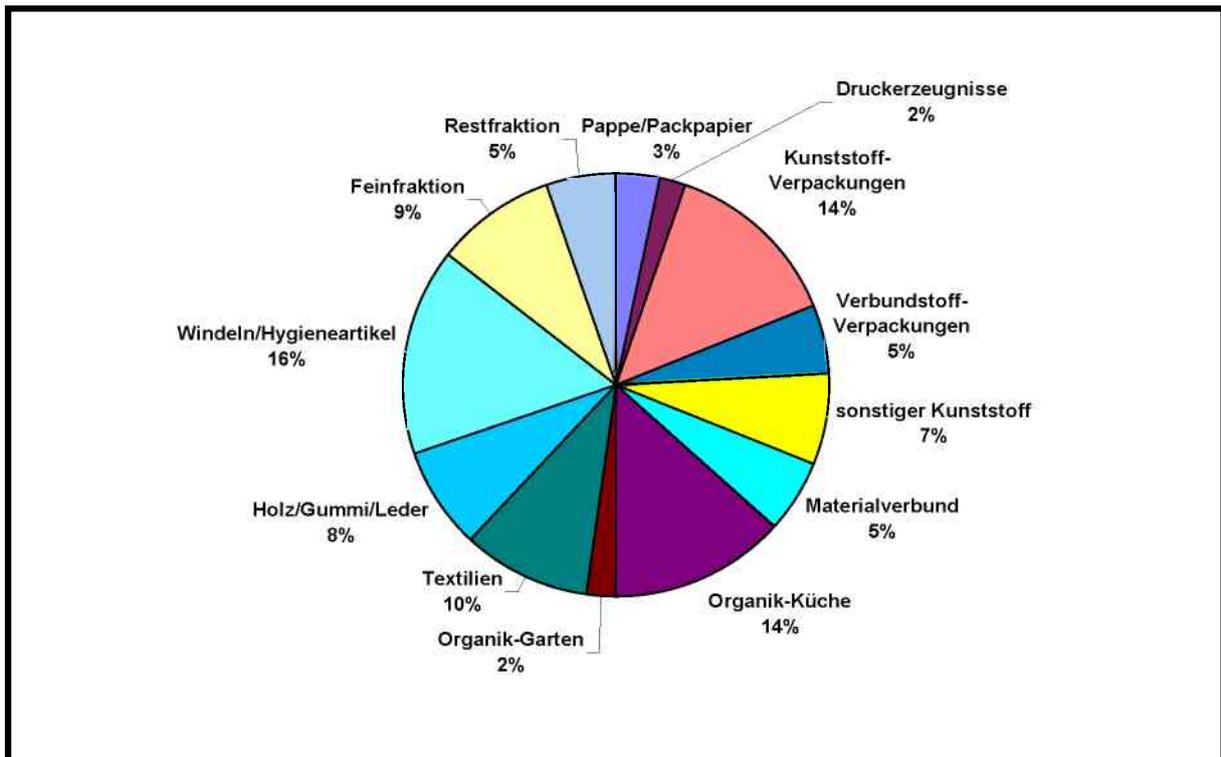


Abbildung 6.8: Aufteilung der H_0 -Gesamtfracht des Restmülls auf die relevanten Sortierfraktionen

6.2.3.3 Deponierung der Feinfraktion

Der Feinmüll (< 10 mm) hat sich im Verlauf der Restmülluntersuchungen als eine Fraktion herausgestellt, die hinsichtlich ihres Aufkommens und ihrer Zusammensetzung nur schwer zu beschreiben ist. Die Gründe – jahreszeitliche Schwankungen sowie die Abhängigkeit von der Siedlungsstruktur der gezogenen Stichprobe – wurden bereits mehrfach angesprochen. Im Jahresdurchschnitt ist für den Restmüll ein Feinmüllanteil von etwa 27 M-% ermittelt worden und im Winter beträgt der Anteil etwa ein Drittel der Gesamtmasse.

In der mechanisch-biologischen Restmüllbehandlung können derart hohe Feinmüll- bzw. Ascheanteile zu verfahrens- und arbeitstechnischen Schwierigkeiten führen. In diesem Zusammenhang sind für die MBRA Allerheiligen insbesondere folgende Punkte anzuführen:

Arbeitsschutz:

- a) enorme Staubbelastung in der Rottehalle, dadurch Belastung des respiratorischen Traktes der Atemwege

Mechanische Aufbereitung:

- a) Explosionsgefahr aufgrund der Staubbildung in der Hammermühle;
- b) mechanische Belastung sämtlicher Anlagen (Siebtrommel, Hammermühle,

Transportbänder etc.) aufgrund der "Schmirgelwirkung" des Feinmülls

Biologische Stufe:

- a) Verstopfung von Spaltböden und Schleppnetz, dadurch erhöhter Luftwiderstand im Rottegut und erhöhter Energieaufwand für die Belüftung; außerdem Behinderung des Rotteprozesses aufgrund ungleichmäßiger Durchlüftung, unvollständiger Abtransport des gebildeten CO₂ und der entstehenden Wärme sowie ungenügende O₂-Versorgung, es kommt zur Ausbildung von sog. Hitzeinseln und unkontrollierten anaeroben Abbauprozessen sowie zu hoher Geruchsbelastung;
- b) Belastung des Perkolatwassers mit mineralischen Partikeln, dadurch Verstopfung der Perkolatdüsen und unzureichende bzw. ungleichmäßige Versorgung des Rottegutes mit Feuchtigkeit und somit Behinderung des Rotteprozesses;
- c) Verklumpungen aufgrund der hohen spezifischen Dichte des Feinmülls und dadurch wiederum schlechte Durchlüftung, Beimengung von viel "Strukturmaterial" erforderlich.

Nicht nur für die MBRA Allerheiligen wäre es deshalb sinnvoll, die Feinfraktion insbesondere im Winter (hoher Ascheanteil), in der mechanischen Aufbereitungsstufe abzusieben und direkt zu deponieren. Die für die Feinfraktion des Restmülls hochgerechneten Anteile für die organischen Summenparameter belaufen sich auf 15 % TOC bzw. 23,8 % Glühverlust. Damit liegen sie, als theoretische Jahresdurchschnittswerte, deutlich über dem von der DVO vorgegebenen Grenzwert für Massenabfalldeponien von 5 % TOC bzw. 8 % GV bezogen auf die Trockensubstanz. Die Einzelergebnisse der 75 Feinmüllproben aus den 4 Sortierkampagnen der Restmüllanalyse belegen, daß nur wenige Proben den TOC- bzw. GV-Grenzwert einhalten.

Der für Abfälle aus mechanisch-biologischer Vorbehandlung in § 5 Nr. 7 f Deponieverordnung alternativ vorgegebene Grenzwert für den H_o (6.000 kJ/kg TS) wird dagegen von den meisten Proben unterschritten. Die gewichteten Mittelwerte der Feinmüllproben aus allen Sortierungen liegen unterhalb des Grenzwertes.

Da die mechanisch-biologische Behandlung jedoch auch die biologische Verfahrensstufe mit einbeziehen muß, hat der Gesetzgeber die Heizwertregelung in seinen Erläuterungen zur Deponieverordnung [66] konkretisiert und Abfälle, die vor der biologischen Behandlung ausgeschleust werden, von der oberen Heizwertregelung ausgenommen. Der ausgeschleuste Feinmüll müßte daher einen Grenzwert von 5 % TOC einhalten, wenn er deponiert werden sollte. Daß der Feinmüll diesen Wert allerdings auch im Winter nicht einhält, haben die vorliegenden Untersuchungen gezeigt.

7 Zusammensetzung des Klärschlammes

7.1 Konzeption und Durchführung der Untersuchungen

Wie in Kapitel 5 beschrieben besteht der Input der MBRA Allerheiligen zu fast einem Drittel aus entwässerten Klärschlämmen der 4 kommunalen ARA (Langenwang, Wartberg, St. Marein und Kapfenberg) des Mürzverbandes. Die Verfahrens- und Anlagentechnik (IST-Zustand und geplante Erweiterungen) sowie Prognosen zur Entwicklung des Klärschlammmanfalls werden ausführlich in [42] erläutert und können dort nachgelesen werden.

Zur Charakterisierung des Klärschlammes wurden von Sommer 1996 bis Sommer 1997 von jeder ARA 4 Proben gezogen und im umweltanalytischen Labor des IED untersucht. Dabei sind insbesondere die relevanten Parameter der Deponieverordnung (Gesamtschadstoffgehalte, Schadstoffgehalte im Eluat und H_2O) analysiert worden. Es sollte aber auch die Frage geklärt werden, ob der Klärschlamm prinzipiell in der Landwirtschaft verwertbar ist, da schon jetzt ca. 1.500 Mg Klärschlamm aus Kapazitätsgründen nicht in der MBRA Allerheiligen behandelt werden können. Deshalb wurden zusätzlich die Konzentrationen für die Parameter der Steiermärkischen Klärschlammverordnung (KSVO) und organischen Schadstoffe sowie der Nährstoffgehalt der Klärschlämme bestimmt. Da in der Steiermärkischen KSVO keine Grenzwerte für die organischen Summenparameter AOX, PAK und PCB enthalten sind, wurden zur Bewertung der organischen Schadstoffgehalte die identischen Grenzwerte der oberösterreichischen bzw. deutschen KSVO herangezogen.

Die 4 ARA des Mürzverbandes werden derzeit stufenweise an die Anforderungen der WRG-Novelle von 1990 angepaßt und zusätzlich mit Faultürmen zur anaeroben Stabilisierung der Klärschlämme ausgestattet. Da die anaerobe Behandlung zu einem weiteren Abbau der organischen Substanz führt und deshalb insbesondere Änderungen hinsichtlich der organischen Summenparameter Glühverlust, TOC und oberer Heizwert zu erwarten sind, wurden zusätzlich 3 Proben der ARA Bruck an der Mur analysiert, die bereits über einen Faulturm verfügt.

Die Proben wurden im Rahmen der Klärschlamm entwässerung gezogen, die mit einer mobilen polymerkonditionierten Kammerfilterpresse (KFP) durchgeführt wird. Aus organisatorischen Gründen war es in den meisten Fällen erforderlich, die Probenahme während der Anfahrphase der KFP durchzuführen, so daß die TS-Gehalte der Proben geringer sind als der durchschnittliche TS-Gehalt des entwässerten Klärschlammes. Es wurden jeweils 8 bis 10 Stichproben je ca. 2 kg des entwässerten Klärschlammes entnommen, zu einer Sammelprobe vereinigt und mittels Mischkreuzverfahren gemäß ÖNORM S 2023 auf ca. 2 kg eingeeengt. In 2 Fällen wurden Flüssigschlammproben gezogen. Die Sammelproben wurden in eine Laborglasflasche gefüllt, zum Labor des IED transportiert und dort gemäß der einschlägigen Analysenverfahren aufbereitet und untersucht. Die

Analysenvorschriften sind in Anhang B zusammengestellt.

7.2 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse

Insgesamt wurden 19 Klärschlammproben (16 aus den ARA des Mürzverbandes und 3 aus der Kläranlage Bruck an der Mur) untersucht und die Analyseergebnisse sind in Tabelle 7.13 den Grenzwerten der Deponieverordnung für Massenabfalldeponien und der Steiermärkischen KSVO [67] gegenübergestellt. Außerdem sind hier Literaturwerte für die einzelnen Parameter zusammengestellt, die im wesentlichen aus einer umfassenden Untersuchung des UBA Wien zum Schadstoff- und Nährstoffgehalt von kommunalen Klärschlämmen aus dem Jahr 1994 entnommen wurden [68] und durch eigene Analyseergebnisse ergänzt worden sind. Die anlagenspezifischen Untersuchungsergebnisse sind in Anhang H zusammengestellt.

Der TS-Gehalt der Klärschlämme aus den ARA des Mürzverbandes beträgt durchschnittlich 28 bis 30 % und lag aus den bereits genannten Gründen bei unseren Untersuchungen bei lediglich 20,5 %. Für den Klärschlamm der ARA Bruck, der mittels polymerkonditionierten Siebbandpressen entwässert wird, ist ein mittlerer TS-Anteil von rund 28 % ermittelt worden. Der pH-Wert lag für alle untersuchten Klärschlämme zwischen 6 und 7, während für kalkkonditionierte Klärschlämme nach der Entwässerung in KFP durchaus pH-Werte > 12 gemessen werden können. Der Grenzbereich der DVO kann aber in aller Regel sicher eingehalten werden.

Für die **organischen Summenparameter** Glühverlust, TOC und oberer Heizwert wurden für den Klärschlamm des Mürzverbandes durchwegs höhere Werte als für den Klärschlamm aus Bruck ermittelt. So sind die Mittelwerte für den GV um 24 %, den TOC um 16 % und den H_o um 45 % erhöht, was sich durch die derzeit noch fehlenden Faultürme erklären läßt. Der durchschnittliche H_o des Klärschlammes aus dem Mürzverband liegt mit 15.200 kJ/kg TS im typischen Bereich eines nicht ausgefaulten kommunalen Klärschlammes. Der mittlere obere Heizwert von 10.500 kJ/kg TS für den Klärschlamm der ARA Bruck läßt auf einen gut ausgefaulten Klärschlamm schließen. Allerdings ist hier anzumerken, daß nur 3 Meßreihen vorliegen und die Spannweite mit 7.440 bis 13.400 kJ/kg TS beträchtlich ist. H_o -Werte < 8.000 kJ/kg TS lassen sich i.d.R. nur bei sehr gut ausgefaulten Klärschlämmen, d.h. bei mittleren Verweilzeiten von > 35 Tagen erreichen. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit im Faulturm beträgt aber in den meisten Fällen nur 20 bis 25 Tage, so daß mit H_o -Werten ≥ 10.000 kJ/kg TS zu rechnen ist. H_o -Gehalte ≤ 6.000 kJ/kg TS können nur nach der maschinellen Entwässerung erreicht werden, wenn größere Mengen an Kalk (und Eisensalze) zur Konditionierung zugegeben werden. So wurde z.B. für den Klärschlamm der kommunalen ARA in Steyr ein oberer Heizwert von 4.560 kJ/kg TS ermittelt [69].

Da in diesen Fällen der Grenzwert der DVO von 6.000 kJ/kg TS sicher unterschritten wird, stellt sich die Frage, ob diese Klärschlämme ohne weitere Behandlung deponierbar sind oder

nicht. Hierzu wird in den Erläuterungen zur DVO klargestellt, daß die anaerobe Behandlung (Faulturm) und mechanische Stufe (maschinelle Entwässerung) nicht ausreicht, um die Ausnahmeregelung für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle in Anspruch nehmen zu können. Erforderlich ist zusätzlich eine aerobe Nachbehandlung [66].

Die **Schwermetallgehalte** sind bei allen Klärschlämmen weit unterhalb der Grenzwerte für Massenabfalldeponien nach DVO. Die Grenzwerte der Steiermärkischen KSVO können von den Klärschlämmen der ARA Bruck, Langenwang und St. Marein problemlos eingehalten werden. Für die ARA Wartberg wurde bei einer Analyse mit 873 mg Kupfer pro kg TS eine Grenzwertüberschreitung um 75 % festgestellt. Da die anderen 3 Analysen den Grenzwert für Kupfer von 500 mg/kg TS weit unterschreiten (Mittelwert 165 mg/kg TS) kann man davon ausgehen, daß es sich um einen einmaligen Ausreißer handelt. Für den Klärschlamm der ARA Kapfenberg wurde der Grenzwert für Molybdän bei 3 von 4 Analysen um bis zu 500 % überschritten. Hierbei handelt es sich um ein anlagenspezifischen Problem, da an die ARA Kapfenberg eine Reihe metallverarbeitender Betriebe angeschlossen sind. Zumindest einer dieser Betriebe dürfte für die erhöhten Molybdänwerte verantwortlich sein. Wird dieses Problem durch abwassertechnische Maßnahmen an der Quelle (Indirekteinleiter) gelöst, so können auch von diesem Klärschlamm die Schwermetallgrenzwerte der Steiermärkischen KSVO eingehalten werden.

Die gemessenen **organischen Schadstoffgehalte** liegen im üblichen Bereich für kommunale Klärschlämme, wobei die Mittelwerte für die Konzentrationen von Summe KW, AOX, PAK und PCB der Klärschlämme aus den ARA des Mürzverbandes relativ gering sind. Auch für die **Nährstoffgehalte** wurden (mit Ausnahme von Magnesium) die zu erwarteten Größenordnungen ermittelt. Neben dem Magnesiumgehalt sind auch die Konzentrationen an Kalzium, Ammonium und Eisen als relativ gering zu bezeichnen.

Abschließend bleibt festzustellen, daß die Klärschlämme aus den 4 kommunalen ARA des Mürzverbandes gemäß Deponieverordnung nicht ohne weitere Vorbehandlung auf einer Massenabfalldeponie abgelagert werden dürfen, da die gemessenen organischen Anteile mit durchschnittlich 67 % GV bzw. 35,8 % TOC sehr weit über den Grenzwerten von 8 % für den Glühverlust bzw. 5 % für den TOC liegen. Eine landwirtschaftliche Verwertung der Klärschlämme ist prinzipiell schon jetzt für die Klärschlämme aus Langenwang, St. Marein und Wartberg möglich, da alle Grenzwerte der Steiermärkischen KSVO eingehalten werden und auch die Belastung an organischen Schadstoffen relativ gering ist. Der durchschnittliche H_o von derzeit 15.200 kJ/kg TS ist sehr hoch und bedeutet daß in der MBRA eine der Energieinhalt um zumindest 65 % verringert werden muß, um den Grenzwert von 6.000 kJ/kg TS sicher zu unterschreiten. Nach der Integration von Faultürmen in den Anlagenbetrieb ist mit einem H_o von rund 10.000 kJ/kg TS zu rechnen.

Tabelle 7.13: Ergebnisse der Untersuchungen von Klärschlämmen aus den ARA des Mürzverbandes (16 Proben) und der ARA Bruck an der Mur (3 Proben)

(Angaben in mg/kg TS außer TS, WG, pH-Wert und H_o)

Parameter	Grenzwerte		ARA Mürzverband			ARA Bruck	Literatur [68]	
	KSVO	DVO	MIN	MAX	Mittelwert	Mittelwert	MIN	MAX
TS [%]	-	-	3,2	31,3	20,5	28,1	1,5	45
WG [%]	-	-	96,8	68,7	79,5	71,9	98,5	55
pH-Wert	-	6-13	6,1	6,9	6,5	6,9	6	12
GV [% TS]	-	8	59	76	67	54	40	63
TOC [g/kgTS]	-	50	309	401	358	309	198	313
H _o [kJ/kgTS]	-	6.000	12.600	17.400	15.200	10.500	6.800	17.400
Zink	2.000	5.000	282	1.100	642	1.019	254	1.700
Kupfer	500	5.000	102	873	242	341	170	540
Chrom ges.	500	5.000	47	182	91	93	25	130
Blei	500	3.000	21	180	82	126	40	290
Nickel	100	2.000	19	92	60	54	14	80
Cobalt	100	500	2,4	27	8,6	6,0	2,2	13
Arsen	-	500	5,0	12	7,9	4,0	1,7	14
Molybdän	20	-	3,5	121	19	12	3,0	18
Cadmium	10	30	0,56	3,3	1,6	3,0	0,2	3,4
Quecksilber	10	20	0,10	8,0	2,5	3,0	0,6	48
Barium	-	10.000	174	478	301	648	135	640
Mangan	-	-	131	396	235	401	80	620
Silber	-	50	1,5	13	6,7	25	1,3	14
Summe KW		20.000	2.350	4.160	3.000	12.400	2.600	16.300
AOX	500 ¹⁾	-	37	98	70	69	65	406
POX	-	1.000	0,002	0,024	0,01	0,008	0,001	0,039
PAK	-	100	1,0	21	3,7	6,7	2,3	21
PCB	0,2 ¹⁾	-	0,01	0,87	0,15	0,07	0,01	1,0
NH ₄ ⁺	-	-	2.960	18.800	7.010	4.950	5.300	41.300
NO ₃ ⁻	-	-	0,5	25	4,8	3,3	0,15	4,7
Gesamt-N	-	-	18.280	50.100	40.000	26.300	30.300	94.500
Gesamt-P	-	-	10.510	55.000	24.100	28.500	18.600	34.100
Kalzium	-	-	9.610	34.700	24.100	47.100	36.600	99.800
Magnesium	-	-	4.140	13.800	7.330	7.500	6.200	18.500
Eisen	-	-	4.100	24.600	13.600	13.400	3.500	79.000
Kalium	-	-	2.820	10.500	5.970	4.500	1.600	11.500
Natrium	-	-	3.650	10.800	6.470	5.480	700	6.000

¹⁾ gemäß Steiermärkischer Klärschlammverordnung sind ARA ab 30.000 EGW zur Messung von AOX, PCB und PCDD/PCDF verpflichtet; Grenzwerte sind aber nicht gesetzt worden. Für AOX und PCB sind die identischen Grenzwerte der oberösterreichischen bzw. deutschen KSVO angeführt

8 Theoretische Überlegungen zur Verringerung des oberen Heizwertes in der MBRA Allerheiligen

8.1 Anlageninput

Derzeit werden in der MBRA Allerheiligen ausschließlich die entwässerten Klärschlämme aus den 4 kommunalen ARA und der kommunale Restmüll des Mürzverbandes verarbeitet. Auf Basis der in den Kapiteln 6 und 7 ermittelten charakteristischen durchschnittlichen Zusammensetzung von Restmüll und Klärschlamm wird hier zunächst der Input der MBRA Allerheiligen beschrieben. Danach werden und die (anlagenspezifischen) Möglichkeiten zur Verringerung des oberen Heizwertes erläutert, um abschließend eine **theoretische H_o-Bilanz** für die MBRA Allerheiligen zu erstellen.

Die wesentlichen allgemeinen Kenngrößen für den durchschnittlichen Input der MBRA können Tabelle 8.1 entnommen werden. Der Anlageninput besteht, bezogen auf die Feuchtmasse, zu 70 % aus Restmüll und 30 % aus Klärschlamm. Der Anteil des Klärschlammes an der Trockenmasse liegt, aufgrund des hohen Wassergehaltes, bei lediglich 15 %, wenn man für den Restmüll einen Wassergehalt von 33 % ansetzt. In der Praxis liegt der Wassergehalt des Restmülls aus dem Mürzverband i.d.R. zwischen 30 und 35 %. Der Restmüll und Klärschlamm sind jeweils für etwa die Hälfte der Wasserfracht verantwortlich.

Tabelle 8.1: Durchschnittliche Zusammensetzung des Inputs der MBRA Allerheiligen im Jahr 1996

Parameter	Gesamtinput	Restmüll		Klärschlamm	
		spezifisch	[%]	spezifisch	[%]
Feuchtmasse	14.890 Mg	10.478 Mg	70 %	4.412 Mg	30 %
Wassergehalt	44 %	33 %	-	71 %	-
Trockenmasse	8.299 Mg	7.020 Mg	85 %	1.279 Mg	15 %
Wasserfracht	6.591 Mg	3.458 Mg	52 %	3.133 Mg	48 %
Glührückstand	44 % TS	46 % TS	-	33 % TS	-
GR-Fracht	3.651 Mg TS	3.229 Mg TS	88 %	422 Mg TS	12 %
Glühverlust	56 % TS	54 % TS	-	67 % TS	-
GV-Fracht	4.648 Mg TS	3.791 Mg TS	82 %	857 Mg TS	18 %
H _o	12.836 kJ/kg TS	12.405 kJ/kg TS	-	15.200 kJ/kg TS	-
H _o -Fracht	106.524 GJ	87.083 GJ	82 %	19.441 GJ	18 %

Der gesamte Input der MBRA an Trockenmasse betrug im Jahr 1996 knapp 8.300 Mg mit

einem Glührückstand von 44 % und organischen Anteil von 56 % (Glühverlust). Der Gesamtinput der MBRA Allerheiligen hatte 1996 einen durchschnittlichen oberen Heizwert von rund 12.800 kJ/kg TS, der damit 114 % über dem Grenzwert der DVO von 6.000 kJ/kg TS liegt. Für Glühverlust und H_o liegen die Anteile an der jeweiligen Gesamtfracht mit 82 % für den Restmüll und 12 % für den Klärschlamm in der gleichen Größenordnung.

Wie bereits in Kapiteln 2, 3 und 4 erläutert, lässt sich die geforderte Verringerung des oberen Heizwertes auf < 6.000 kJ/kg TS nur realisieren, wenn die Strategie des mechanisch-biologischen Restabfallsplittings (MBRS) konsequent umgesetzt wird. Zum einen müssen biologisch nicht abbaubare, organische Materialien abgetrennt werden und die biologisch abbaubaren Anteile einer mindestens 12 bis 16-wöchigen anaeroben und/oder aeroben biologischen Behandlung bei optimalen Milieubedingungen unterzogen werden. Diese Möglichkeiten werden im folgenden am Beispiel der MBRA Allerheiligen diskutiert.

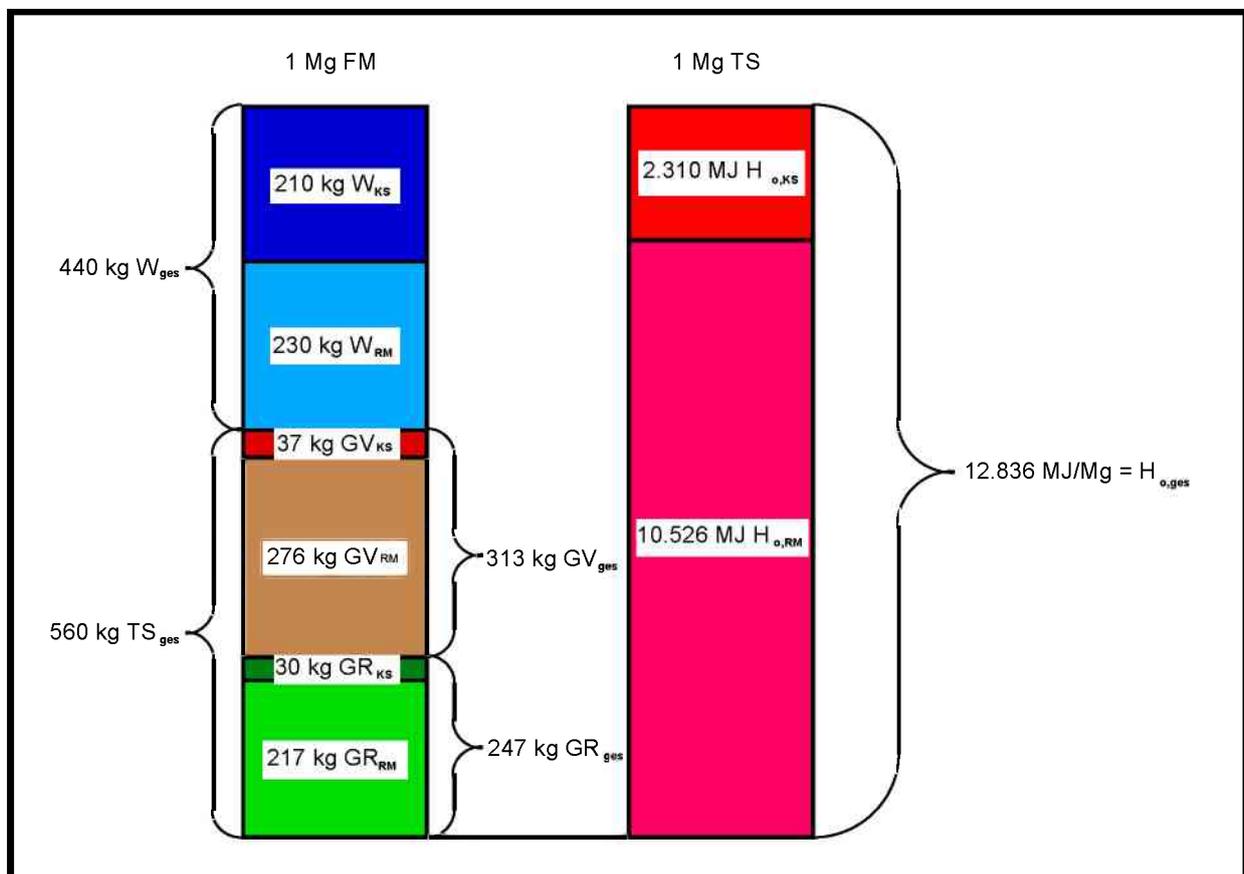


Abbildung 8.1: Durchschnittliche Zusammensetzung des Inputs der MBRA Allerheiligen im Jahr 1996

8.2 Abtrennung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien

Für den entwässerten kommunalen Klärschlamm, dessen durchschnittliche Korngröße i.d.R. zwischen 0,05 und 0,5 mm liegt, ist eine Abtrennung heizwertreicher Anteile mittels mechanischer Verfahren aufgrund der homogenen Zusammensetzung nicht möglich. Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, wird der Klärschlamm in der MBRA Allerheiligen (nach der Zerkleinerung des Restmülls und Magnetscheidung) im Mischzerkleinerer mit der Restmüllfraktion < 80 mm homogenisiert und in den Intensivrottetunneln biologisch behandelt.

Die grundsätzlichen Möglichkeiten zur Abtrennung heizwertreicher, biologisch nicht abbaubarer Anteile des Restmülls wurden bereits in Abschnitt 2.3.4 erläutert und in Kapitel 5.3 ist die Konzeption für die MBRA Allerheiligen (Absiebung bei 80 mm vor der Intensivrotte und bei 24 mm nach der Extensivrotte) beschrieben worden. Im folgenden werden die Möglichkeiten zur Ausschleusung von heizwertreichen Bestandteilen des Restmülls vor der Rotte am Beispiel der durchschnittlichen Zusammensetzung des Restmülls im Mürzverband diskutiert. Die prozentuale Verteilung der gesamten Trockenmasse bzw. H_o -Fracht auf die einzelnen Restmüllfraktionen kann Abbildung 8.2 (linke Säulen) entnommen werden.

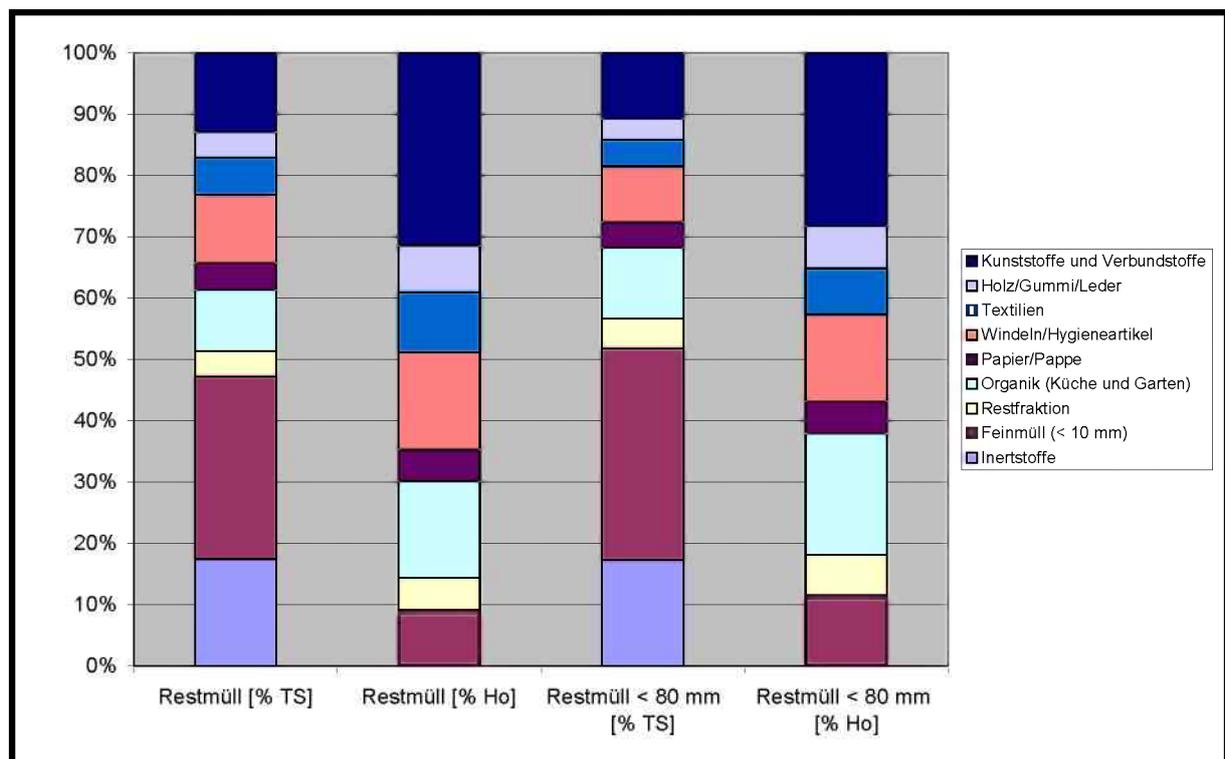


Abbildung 8.2: Prozentuale Verteilung der gesamten Trockenmasse bzw. H_o -Fracht auf die Restmüllfraktionen vor (linke Säulen) und nach der mechanischen Vorbehandlung (rechte Säulen)

Der Anteil der Inertstoffe (Metalle, Glas und Mineralien), Feinmüll und Restfraktion an der Trockenmasse des Restmülls beträgt 51,3 %, während sich der Beitrag an der gesamten H_o -

Fracht auf lediglich 14,4 % von 12.400 kJ/kg TS beläuft. Es ist davon auszugehen, daß diese Fraktionen nach der Zerkleinerung und Absiebung bei 80 mm, mit Ausnahme der abgeschiedenen Fe-Metalle (ca. 2-3 % der Restmülltrockenmasse), nahezu vollständig (Annahme 98 %) im Siebdurchgang zu finden sind. Das gleiche gilt für die Vegetabilien, die zu über 80 TM-% aus Küchenabfällen bestehen und für 15,7 % der gesamten H_o -Fracht verantwortlich sind.

Die Fraktion Windeln und Hygieneartikel besteht zu ca. 90 TM-% aus Windeln und der Anteil an der H_o -Fracht des Restmülls beträgt 15,9 %. Bei der Zerkleinerung werden die Windeln zerfasert und der biologisch abbaubare organische Inhalt gelangt überwiegend in die Fraktion < 80 mm, während die Kunststoffanteile (samt anhaftender Organik) zumindest teilweise (schätzungsweise 30 TM-%) im Siebüberlauf zu finden sind. Der Anteil von Papier und Pappe an der Trockenmasse des Restmülls beträgt lediglich 4,4 %; auch der Beitrag an der gesamten H_o -Fracht ist mit 5,5 % gering. Nach der Zerkleinerung sind schätzungsweise 80 % der Trockenmasse im Siebdurchgang zu finden. Auch die Abscheidegrade für die übrigen Fraktionen dürften aufgrund des groben Siebschnitts von 80 mm im Bereich von 20 bis 40 % der Trockenmasse liegen (Schätzung für den Siebüberlauf: Textilien (40 %), Holz/Gummi/Leder (30 %) sowie Kunst- und Verbundstoffe (30 %)).

Legt man diese Annahmen zugrunde, so kann die durchschnittliche Zusammensetzung, der obere Heizwert des Restmülls und Heizwertanteile der einzelnen Fraktionen für den Restmüll < 80 mm (nach Zerkleinerung, Magnetscheidung und Siebung) mittels folgender Formel berechnet werden. Das Ergebnis kann Abbildung 8.2 (rechte Säulen) entnommen werden.

$$H_{o, RM < 80 \text{ mm}} = [0,7 (H_{o, V/K} + H_{o, H/G/L} + H_{o, W}) + 0,6 H_{o, T} + 0,8 H_{o, P} + 0,98 (H_{o, O} + H_{o, RF} + H_{o, FM}) \\ \times 1/\sum y_{mx} \text{ [kJ/kg TS]}$$

$$\text{mit } \sum y_{mx} = 0,7 (m_{V/K} + m_{H/G/L} + m_W) + 0,6 m_T + 0,8 m_P + 0,98 (m_O + m_{RF} + m_{FM} + m_I - m_{Fe})$$

$H_{o, RM < 80 \text{ mm}}$ = oberer Heizwert der Restmüllfraktion < 80 mm [kJ/kg TS]

$H_{o, x}$ = H_o -Anteile der Restmüllfraktionen am unbehandelten Restmüll [kJ TS]

y_{mx} = TM-Anteil der Fraktion x des unbehandelten Restmülls in der Fraktion < 80 mm [kg TS]

mit x: V/K = Verbund-/Kunststoffe; H/G/L = Holz/Gummi/Leder; W = Windeln; T = Textilien;
P = Papier/Pappe; O = Organik; RF = Restfraktion; FM = Feinmüll; I = Inertstoffe;
Fe = Eisenmetalle

Der obere Heizwert ist im Siebdurchgang mit rund 11.400 kJ/kg TS lediglich um etwa 9 % geringer als im gesamten Restmüll. Die TM- und Heizwertanteile der Fraktionen Kunststoffe/Verbundstoffe, Holz/Gummi/Leder, Textilien, Windeln/Hygieneartikel sind (etwas) geringer als im unbehandelten Restmüll, während für die Fraktionen Feinmüll, Sortierreste und Organik Anreicherungen feststellbar sind. Von einer effektiven Entfrachtung des

Restmülls durch die Abtrennung von heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien kann demnach nicht gesprochen werden. Nach dieser Berechnung wird rund 11 % der Trockenmasse des Restmülls als Siebüberlauf mit einem oberen Heizwert von ca. 22.700 kJ/kg TS abgetrennt. Dieses Material hat einen Wassergehalt von 10 bis 20 %, so daß der untere Heizwert (H_u) zwischen rund 17.000 und fast 20.000 kJ/kg Feuchtmasse liegt und sich der Siebüberlauf somit gut für eine energetische Verwertung eignet.

Der Grenzwert der DVO von 6.000 kJ/kg TS läßt sich durch eine rein mechanische Aufbereitung selbst dann nicht einhalten, wenn man z.B. die unrealistischen Annahme trifft, daß die Fraktionen Kunststoffe/Verbundstoffe, Holz/Gummi/Leder und Textilien zu 100 % als heizwertreiche, biologisch nicht abbaubare Anteile abgetrennt werden und die übrigen Fraktionen zu 100 % in den Siebdurchgang gelangen. Selbst in diesem Fall würde der obere Heizwert weit über 8.000 kJ/kg TS liegen.

Vor diesem Hintergrund fällt den biologischen Stufen in der MBRA Allerheiligen eine besondere Bedeutung zu, da hier die mikrobiell verfügbare organische Substanz weitgehend abgebaut werden muß. Die erreichbaren biologischen Abbaugrade werden im folgenden Abschnitt sowohl für den Restmüll als auch für den entwässerten Klärschlamm diskutiert. Die weitergehende Abtrennung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Bestandteile, mit dem Ziel den Grenzwert der Deponieverordnung einzuhalten, erfolgt in der MBRA Allerheiligen erst nach der biologischen Behandlung des Restmüll/Klärschlamm-Gemischs. Zu diesem Punkt sind theoretische Betrachtungen an dieser Stelle nicht zielführend und die Überlegungen werden erst im Rahmen der Erstellung der theoretischen H_o -Bilanz für die MBRA Allerheiligen angestellt (Kapitel 8.4). Deshalb wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit praktische Versuche zur Abtrennung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien nach der Rotte an der MBRA Allerheiligen durchgeführt, die in Kapitel 9 erläutert werden.

8.3 Biologischer Abbau der organischen Substanz

8.3.1 Verrottbarer Anteil des Restmülls

In Kap. 6.2.3.2 wurde eine Unterteilung der 21 Fraktionen aus der Restmüllsortierung in 3 Hauptgruppen vorgenommen. Diese Einteilung richtete sich ausschließlich nach dem Gehalt an organischer Substanz, ohne eine Unterscheidung zwischen biologisch abbaubaren und nicht biologisch abbaubaren Materialien vorzunehmen. Um den verrottbaren Anteil des Restmülls zu quantifizieren ist eine differenziertere Betrachtungsweise erforderlich. Die organischen Inhaltsstoffe des Restmülls können nach dem Grad ihrer Abbaubarkeit in 4 Kategorien eingeteilt werden [26, 70]:

- **leicht abbaubar:**
Kohlehydrate (Zucker, Stärke), Hemizellulosen, zahlreiche Proteine,

- **mittelschwer abbaubar – über längere Zeiträume und unter bestimmten Bedingungen:** Zellulose, Fette, Eiweißstoffe, Wachse, Öle,
- **schwer abbaubar – sehr resistent gegenüber Rotteprozessen:** Lignine, Keratine, Harze,
- **nicht abbaubar – biologisch inert:** Kohle, Koks, Kork, Gummi, Leder und die meisten Kunststoffe.

Aus dieser Aufstellung wird deutlich, daß ein Großteil der Materialien, die durch die Parameter Glühverlust, TOC und H_o analytisch erfaßt werden, nicht mikrobiell zersetzbar sind. Hinsichtlich ihrer biologischen Abbaubarkeit lassen sich die 21 Fraktionen der Restmüllsortierung nach [71] folgendermaßen einteilen

A gut verrottbar:

Vegetabilien (Organik-Küche und Organik-Garten), Pappe/Packpapier, Druckerzeugnisse, Windeln/Hygieneartikel,

B mittelschwer oder nur z. T. verrottbar:

Textilien aus Naturfasern (Baumwolle, Seide, Wolle), Rest- und Feinfraktion, Getränkekartonverbund,

C nicht bzw. nur minimal abbaubar – biologisch inert, jedoch brennwert-relevant:

Kunststoff-/Verbundstoffverpackungen, sonstiger Kunststoff, Materialverbund, Holz/Gummi/Leder-Fraktion, Textilien aus Kunstfasern,

D inert – weder verrottbar noch verbrennbar:

Mineralien, Glas, Eisen- und Nichteisenmetalle sowie Verpackungen gleichen Materials.

Die massenmäßige Aufteilung der Feuchtmasse des Restmülls in die 4 Hauptgruppen A bis D kann Abbildung 8.3 entnommen werden.⁴ Gut ein Drittel des im Mürzverband im Jahresdurchschnitt anfallenden Restmülls kann als "gut biologisch abbaubar" (Hauptgruppe A) bezeichnet werden, wobei die Windelfraktion und die biogenen Küchenabfälle den größten Anteil ausmachen. Aufsummiert belaufen sich diese beiden Fraktionen auf insgesamt rund 25 M-% (oder 17 M-% TS) des gesamten Restmülls bzw. 75,5 M-% (72 M-% TS) der Hauptgruppe A. Der Anteil der hier zusammengefaßten 5 Fraktionen am gesamten Glühverlust beträgt etwa 42 %, an der Gesamtfracht des TOC sowie am oberen Heizwert jeweils etwa 37 % (vgl. Tabelle 8.2 und Tabelle 8.3).

⁴ Die in der obigen Aufstellung doppelt genannten Fraktionen Textilien und Verbundstoffverpackungen bzw. Getränkekartonverbund werden vollständig der Gruppe B zugeordnet

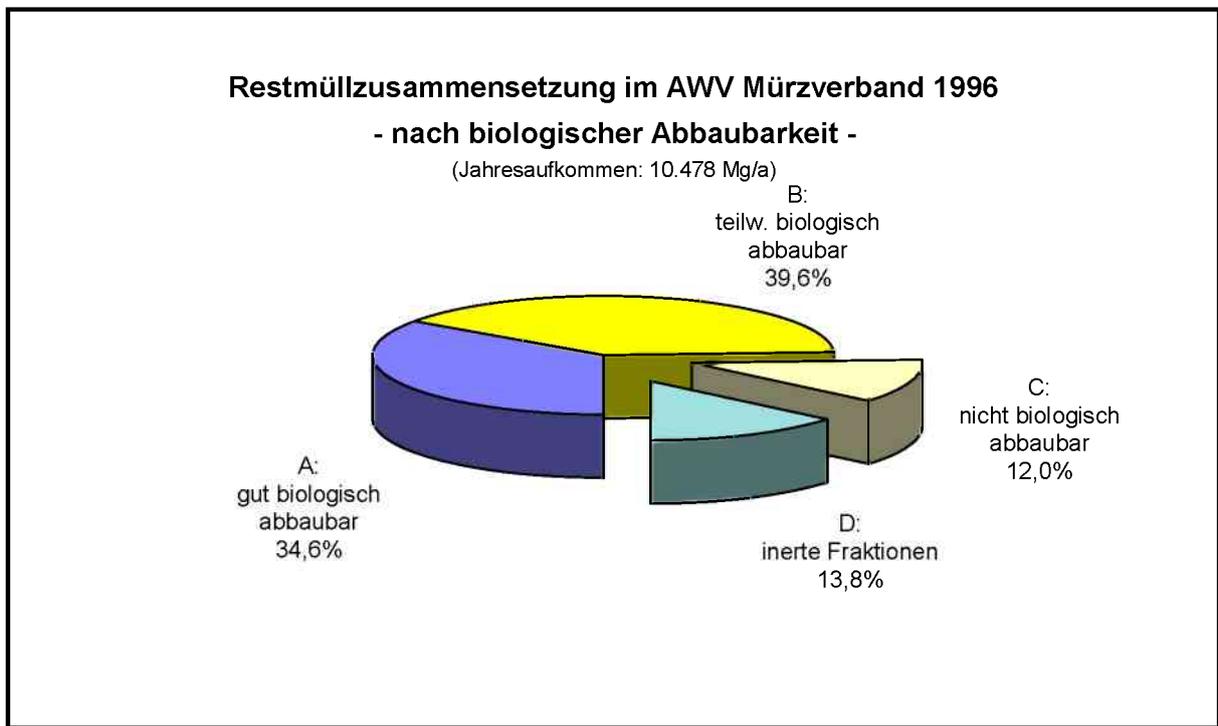


Abbildung 8.3: Einteilung der Restmüllfraktionen nach ihrer biologischen Abbaubarkeit (Angaben in M-%)

Die nur teilweise biologisch abbaubaren Materialien sind in Hauptgruppe B zusammengefaßt, deren Anteil insgesamt etwa 40 M-% (bzw. 43 M-% TS) des Restmülls beträgt. Der Feinmüll ist mit 27 M-% (30 M-% TS) am Gesamtrestmüll bzw. mit gut 70 M-% (72,5 M-% TS) in der Hauptgruppe B vertreten und stellt von den 4 Fraktionen die größte Stoffgruppe dar. Zu dieser Kategorie zählen außerdem die Restfraktion sowie sämtliche Textilien und Verbundstoffverpackungen. Naturfasern sind im allgemeinen recht gut biologisch abbaubar. Das gleiche gilt für den hohen Papieranteil der Getränkeverbundkartons, insbesondere nach deren Zerkleinerung. In geringer Menge sind in Verbundstoffverpackungen aber auch Kunststoffe und Aluminium enthalten, die biologisch inert sind. Auch die Restfraktion ist aus verschiedensten Materialien zusammengesetzt und es sind sowohl größere Anteile nativ-organischer Materialien (z.B. Küchenabfälle) als auch nicht-abbaubare Stoffe (z.B. Zigarettenkippen, Plastikschnipsel, Metallnägeln) enthalten. Der Feinmüll ist differenziert zu bewerten, da dessen stoffliche Zusammensetzung stark saisonalen bzw. witterungs-bedingten Schwankungen unterworfen ist. So ist der im Rahmen der Restmüllsortierungen ermittelte TOC-Gehalt des Feinmülls im Herbst mit ca. 198 g/kg TS doppelt so hoch wie in den Wintermonaten, so daß im Herbst mit einem deutlich höheren biologisch abbaubaren Anteil im Feinmüll zu rechnen ist.

Tabelle 8.2: Trockensubstanz und Glühverlust-Frachten der biologisch abbaubaren Restmüllfraktionen

		Restabfall		TS	Glühverlust - GV		
Fraktion		Anteil an Gesamt- aufkommen		Analyse	Analysen- ergebnis	Beitrag zur Gesamt- fracht	Anteil an Gesamt- fracht
Nr.	Bezeichnung	(in M-%)	(in M-% TS)	[%]	[% TS]	[% TS]	(in % d. GV)
A Σ gut biologisch abbaubare Fraktionen (Nr. 1, 2, 13, 14, 18)							
1	Pappe/Packpapier	2,5%	2,8%	83,7	86,8	2,4%	4,5%
2	Druckerzeugnisse	1,4%	1,6%	83,8	82,3	1,3%	2,4%
13	Organik-Küche	14,8%	8,5%	43,5	86,6	7,4%	13,8%
14	Organik-Garten	2,4%	1,6%	49,4	84,1	1,3%	2,5%
18	Windeln/Hygieneartikel	13,5%	11,1%	62,2	92,4	10,2%	19,1%
(n=5)	Σ gut biol. abbaubar	34,6%	25,5%	53,2	88,7	22,6%	42,2%
B Σ mittelschwer oder nur teilweise biologisch abbaubare Fraktionen (Nr. 7, 15, 20, 21)							
7	Verbundstoff-Verpackungen	2,6%	3,0%	85,9	85,0	2,5%	4,7%
15	Textilien	5,6%	6,1%	82,7	94,2	5,7%	10,7%
20	Feinfraktion	27,0%	29,8%	83,3	23,8	6,9%	12,8%
21	Restfraktion	4,3%	4,1%	71,2	68,4	2,8%	5,2%
(n=4)	Σ teilw. biol. abbaubar	39,6%	42,9%	82,8	41,7	17,9%	33,4%

Der Anteil der Hauptgruppe B an der gesamten Glühverlustfracht beträgt aufgrund des geringen durchschnittlichen Glühverlusts des Feinmülls (der dafür allerdings in den Wintermonaten in wesentlich höherem Umfang anfällt) rund 33 %. In der gleichen Größenordnung (ca. 34 %) liegt der Anteil der 4 Fraktionen der Gruppe B an der TOC-Fracht des Restmülls, während sie zum oberen Heizwert mit 29,5 % beitragen (vgl. Tabelle 8.3).

Die übrigen 12 Sortierfraktionen sind in den beiden Abfallkategorien C und D zusammengefaßt und der Anteil am gesamten Restmüll beträgt fast 26 M-% (32 M-% TS). Hiervon macht die Abfallkategorie C, bestehend aus nicht-verrottbaren, aber sehr energiereichen Materialien wie Kunststoffen, Gummi und Holz, gut die Hälfte aus. Mit ihrem Gesamtanteil am Restmüll von 12 M-% (14 M-% TS) sind sie jedoch für rund 24 % der gesamten Glühverlust-Fracht verantwortlich sowie für fast 29 % der TOC-Fracht und etwa 34 % des oberen Heizwertes.

Für die Abfallkategorie C ist die biologische Behandlung nicht sinnvoll. Selbst Naturmaterialien wie Holz, Leder, Kohle und Koks überstehen eine Intensivrotte nahezu unbeschadet, tragen jedoch erheblich zu den organischen Feststoffparametern und zum oberen Heizwert bei. Der überwiegende Teil der (gebräuchlichen) Kunststoffe ist nicht biologisch abbaubar, sofern der Anteil anhaftender Lebensmittelreste oder andere nativ-organische Verschmutzungen vernachlässigt werden.

Die Hauptgruppe D setzt sich aus Inertmaterialien wie Glas, Metalle und der Mineralienfraktion (Steine, Keramik) zusammen und beträgt etwa 14 M-% des Restmülls. Die hierunter aufsummierten Sortierfraktionen sind komplett weder biologisch abbaubar noch tragen sie zu den organischen Summenparametern oder zum H_o bei.

Tabelle 8.3: TOC- und H_o-Frachten der biologisch abbaubaren Restmüllfraktionen

Fraktion		TOC-Gehalt			H _o		
		Analysen- ergebnis	Beitrag zur Gesamt- fracht	Anteil an Gesamt- fracht	Analysen- ergebnis	Beitrag zur Gesamt- fracht	Anteil an Gesamt- fracht
Nr.	Bezeichnung	[g/kg TS]	[g/kg TS]	(in % d.TOC)	[kJ/kg TS]	[kJ/kg TS]	(in % d. H _o)
A	Σ gut biologisch abbaubare Fraktionen (Nr. 1, 2, 13, 14, 18)						
1	Pappe/Packpapier	401,2	11,1	3,7%	15.100	418	3,4%
2	Druckerzeugnisse	381,0	6,0	2,0%	14.000	220	1,8%
13	Organik-Küche	457,7	39,0	13,1%	19.800	1.683	13,6%
14	Organik-Garten	431,1	6,8	2,3%	16.800	267	2,2%
18	Windeln/Hygieneartikel	432,2	47,8	16,0%	17.800	1.968	15,9%
(n=5)	Σ gut biol. abbaubar	434,1	110,7	37,1%	17.860	4.556	36,7%
B	Σ mittelschwer oder nur teilweise biologisch abbaubare Fraktionen (Nr. 7, 15, 20, 21)						
7	Verbundstoff-Verpackungen	460,7	13,6	4,6%	22.300	660	5,3%
15	Textilien	482,7	29,4	9,8%	19.900	1.208	9,7%
20	Feinfraktion	150,2	42,2	14,1%	3.800	1.133	9,1%
21	Restfraktion	408,2	16,7	5,6%	16.000	654	5,3%
(n=4)	Σ teilw. biol. abbaubar	237	101,9	34,1%	8.516	3.654	29,5%

Zusammenfassend ist festzustellen, daß 34,6 M-% (bzw. 25,5 M-% TS) des im Untersuchungsgebiet anfallenden Restmülls gut biologisch abbaubar ist; weitere 39,6 M-% (42,9 M-% TS) gelten als teilweise biologisch abbaubar. Insgesamt beträgt der durch einen Verrottungsprozeß abfalltechnisch sinnvoll behandelbare Anteil des Restmülls rund 74,2 M-% (68,4 M-% TS), während für die übrigen 25,8 M-% (31,6 M-% TS) kein biologischer Abbau möglich ist.

Es ist davon auszugehen, daß der organische Anteil (gemessen als Glühverlust) durch die biologische Behandlung in der MBRA Allerheiligen für die Abfallkategorie A um 60 bis 80 % vermindert werden kann, während für die Hauptgruppe B (je nach Jahreszeit) mit einer Abbaurrate von 30 bis 60 % zu rechnen ist. Wie bereits erläutert, ist für die Abfallkategorien C und D mit keiner Verringerung des organischen Anteils zu rechnen. Für den Restmüll im Mürzverband, der einen durchschnittlichen Glühverlust von 54 % TS aufweist, ist somit der biologische Abbau von 35 bis 54 % der organischen Ausgangssubstanz (Glühverlust) zu erwarten. Dies entspricht einer Verminderung der Restmülltrockenmasse von 19 bis 29 % und der organische Anteil des Rottegutes, gemessen als Glühverlust würde zwischen 35 und 43 % liegen.

Konkrete Aussagen zur Verminderung des H_o durch die biologische Behandlung sind äußerst schwierig, da bisher kaum Erfahrungswerte vorliegen. Außerdem hängt die Höhe

des H_o im Unterschied zum TOC und Glühverlust, die den quantitativen Anteil des organischen Kohlenstoff beschreiben (sollen), sowohl von der Menge des organischen Kohlenstoffs als auch von der Art der organischen Verbindungen (quantitative und qualitative Komponente) ab (siehe auch Kapitel 3.3).

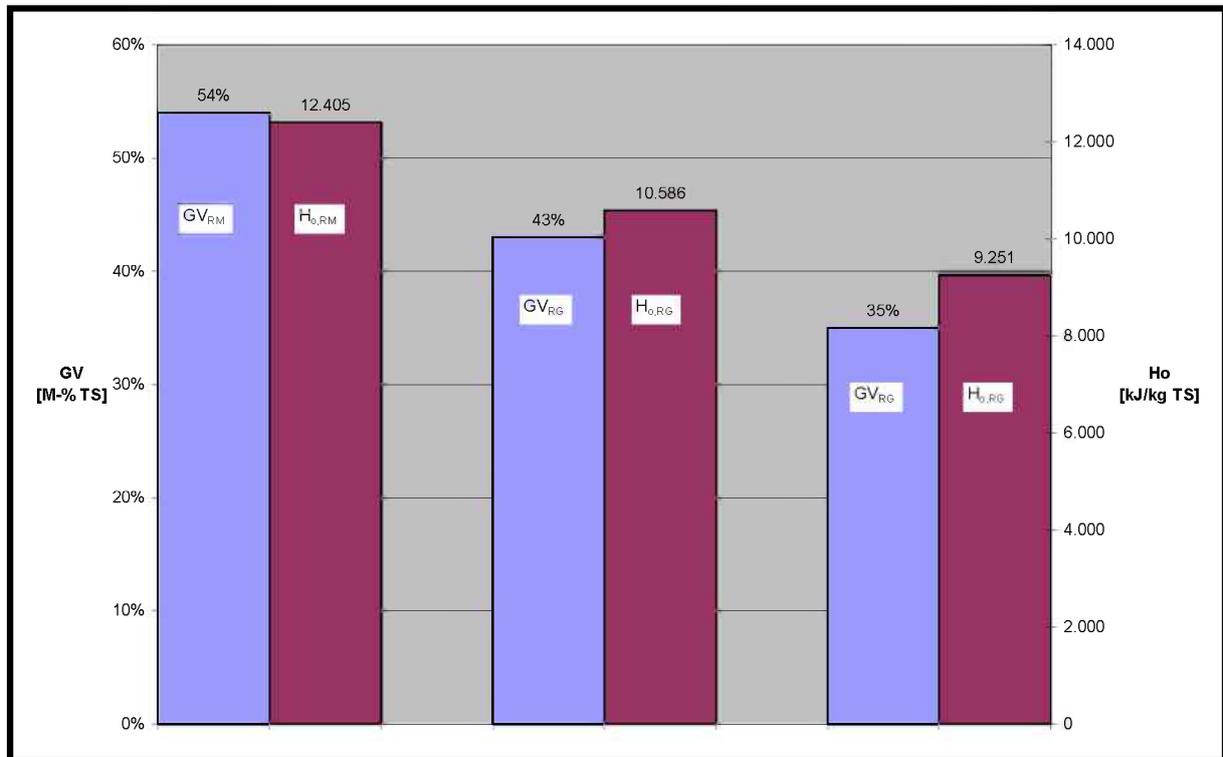


Abbildung 8.4: Glühverlust und oberer Heizwert vor (Meßwerte) und nach (prognostizierte Werte) der **ausschließlich** biologischen Behandlung des Restmülls

Trifft man für Verringerung des oberen Heizwertes für die 4 Abfallkategorien die gleichen Annahmen wie beim Glühverlust und berücksichtigt die Verminderung der Restmülltrockenmasse, so ist nach der biologischen Behandlung des durchschnittlichen Restmülls mit einem H_o zwischen 9.300 und 10.600 kJ/kg TS zu rechnen. Bezogen auf den Ausgangswert von 12.400 kJ/kg TS entspricht dies einer Reduktionsrate von 15 bis 25 %. Der Grenzwert der DVO für den oberen Heizwert von 6.000 kJ/kg TS wird um 55 bis 77 % überschritten, wodurch nochmals belegt wird, daß eine alleinige biologische Behandlung des Restmülls nicht zielführend ist. Die Ergebnisse dieser theoretischen Überlegungen sind in Abbildung 8.4 graphisch dargestellt.

8.3.2 Verrottbarer Anteil des Klärschlammes

Ausgehend vom durchschnittlichen Glühverlust des entwässerten Klärschlammes beträgt der organische TM-Anteil 67 %, der damit in der zu erwartenden Größenordnung für nicht

ausgefaulte kommunale Klärschlämme liegt. Geht man davon aus, daß 60 bis 80 % des Glühverlustes in den biologischen Stufen der MBRA Allerheiligen abgebaut werden, so entspricht dies einer Verringerung der Klärschlamm-trockenmasse von rund 40 bis 55 %. Der organische Anteil gemessen als Glühverlust würde nach der biologischen Behandlung zwischen 26 und 45 % liegen.

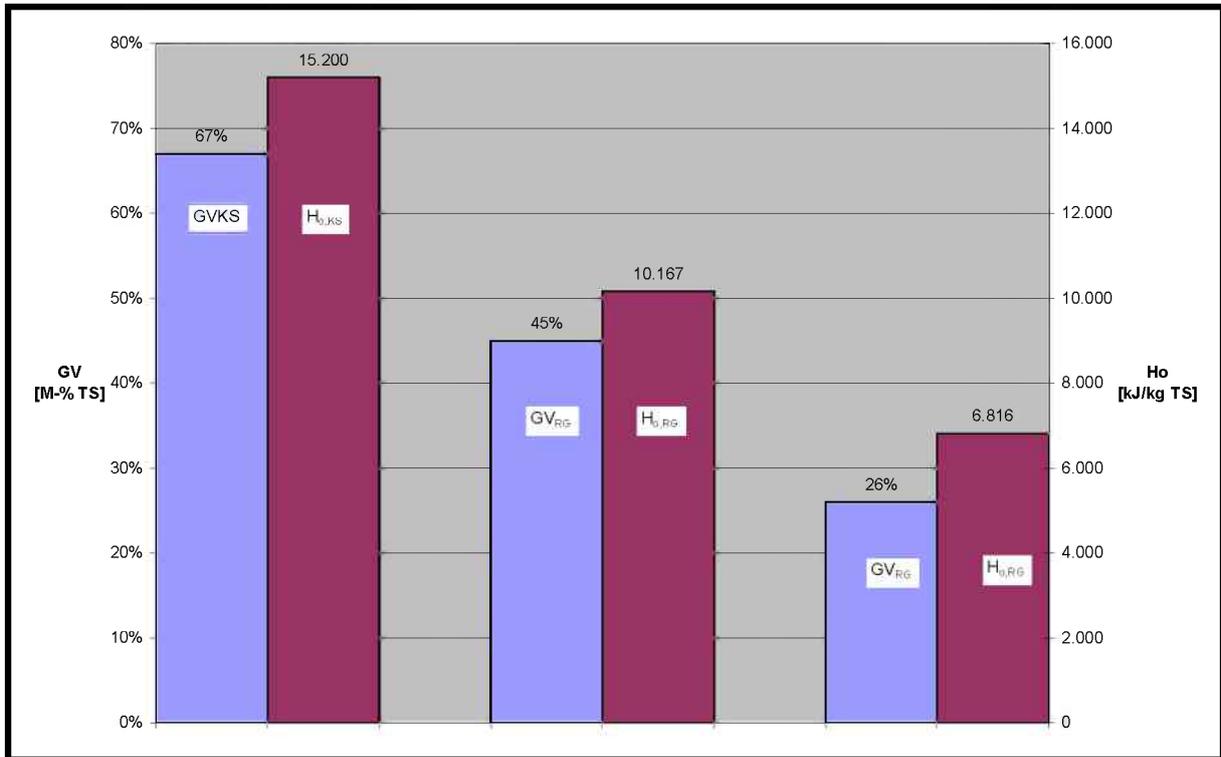


Abbildung 8.5 Glühverlust und oberer Heizwert vor (Meßwerte) und nach (prognostizierte Werte) der biologischen Behandlung des Klärschlammes

Geht man auch für den Klärschlamm davon aus, daß der biologische Abbau der organischen Substanz von 60 bis 80 % eine Verminderung des H_o in der gleichen Größenordnung zur Folge hat und berücksichtigt die Verringerung der Trockenmasse so ist nach der biologischen Behandlung des Klärschlammes mit einem oberen Heizwert zwischen 6.800 kJ/kg TS und 10.200 kJ/kg TS zu rechnen. Bei einer Verminderung um 70 % hätte einen H_o von knapp 8.600 kJ/kg TS zur Folge.

In keinem Fall kann der Grenzwert der Deponieverordnung von 6.000 kJ/kg TS unterschritten werden. Der Klärschlamm gelangt nach der biologischen Behandlung (aufgrund der geringen mittleren Korngröße) bei der Absiebung mehr oder weniger vollständig in das zu deponierende Feinmaterial, so daß die Mitbehandlung von Klärschlamm in der MBRA Allerheiligen zumindest als problematisch zu bezeichnen ist. Die Ergebnisse dieser theoretischen Überlegungen sind in Abbildung 8.5 graphisch dargestellt.

8.4 Theoretische Heizwertbilanz

Auf Basis der Ergebnisse der Kapitel 8.1 bis 8.3 soll hier für das Jahr 1996 eine theoretische TM- und H_o -Bilanz für die MBRA Allerheiligen erstellt werden. Das Ergebnis kann Abbildung 8.6 entnommen werden.

Im Jahr 1996 wurden in der MBRA Allerheiligen rund 7.000 Mg TS Restmüll mit einem durchschnittlichen oberen Heizwert von 12.400 kJ/kg TS verarbeitet. Es wird hier angenommen, daß nach der Zerkleinerung mittels Magnetscheidung fast 180 Mg Fe-Metalle (ca. 2,5 % der Restmüll-TM) ohne nennenswerte Heizwertfracht ausgeschleust werden. Die Abtrennung der thermisch verwertbaren Leichtfraktion, insgesamt rund 770 Mg TS (ca. 11 % der Restmüll-TM) erfolgt mittels Siebung bei 80 mm und der Siebüberlauf hat einen mittleren H_o von 22.700 kJ/kg TS. Der Restmüll < 80 mm, insgesamt rund 6.000 Mg TS weist einen durchschnittlichen oberen Heizwert von rund 11.400 kJ/kg TS auf und wird gemeinsam mit fast 1.300 Mg TS Klärschlamm biologisch behandelt (siehe auch Kapitel 8.1 und 8.2).

Im Behandlungskonzept der MBRA Allerheiligen ist eine Absiebung des Rottegutes bei 24 mm nach 6 Wochen biologischer Behandlung vorgesehen (siehe auch Kapitel 5.3). Im Rahmen der in Kapitel 9 beschriebenen Rotteversuche sollten insbesondere Varianten geprüft werden, die eine längere biologische Behandlung des gesamten Restmülls < 80 mm vorsehen. Die Abtrennung der heizwertreichen Materialien erfolgt in diesen Fällen erst nach 22 Wochen mittels Trommelsieb. Deshalb wird diese Vorgehensweise auch für die theoretische H_o -Bilanz vorausgesetzt.

Es wird angenommen, daß der organische TM-Anteil des Restmülls (gemessen als Glühverlust) durch die biologische Behandlung um 35 bis 54 % verringert werden kann, was einem TM-Verlust von 19 bis 29 % entspricht. Unter der Voraussetzung, daß sich der obere Heizwert ebenfalls um 35 bis 54 % verringert, ist nach den biologischen Stufen mit einem H_o zwischen 9.300 und 10.600 kJ/kg TS zu rechnen (siehe auch Kapitel 8.3.1). Für den eingesetzten Klärschlamm, dessen durchschnittlicher oberer Heizwert 15.200 kJ/kg TS beträgt, wird angenommen, daß 60 bis 80 % der organischen TM (Glühverlust) abbaubar sind. Dies führt zu einer Verringerung der Trockenmasse des Klärschlammes um 40 bis 55 % und der H_o dürfte nach der biologischen Behandlung zwischen 6.800 und 10.200 kJ/kg TS liegen. Da der Klärschlamm bei der abschließenden Siebung zur Abtrennung heizwertreicher, biologisch nicht abbaubarer Materialien mehr oder weniger vollständig in die Feinfraktion gelangt sind die hohen H_o -Werte nach der biologischen Behandlung als problematisch zu bezeichnen (siehe auch Kapitel 8.3.2).

Auf Basis dieser Annahmen ergibt sich für die biologischen Stufen der MBRA Allerheiligen die in Abbildung 8.6 dargestellte TM- und H_o -Bilanz. Der Input der Biologie hat einen

durchschnittlichen H_o von 12.100 kJ/kg TS und der biologische Abbaugrad der organischen Substanz (gemessen als Glühverlust) liegt zwischen 39 bis 59 %. Demnach beträgt der Rotteverlust an Trockensubstanz zwischen 23 und rund 33 %. Das Masseverhältnis zwischen Restmüll und Klärschlamm an der gesamten Trockenmasse liegt im Input der Biologie bei etwa 4,8 und steigt im Rottegut (in Abhängigkeit von der spezifischen biologischen Abbaurate) auf Werte zwischen 6,4 und 7,5 an. Insgesamt fallen zwischen 4.900 und 5.700 Mg TS als Rottegut an, was bezogen auf den Gesamtinput der MBRA Allerheiligen einem Prozentsatz von 59 bis 69 % der Trockenmasse entspricht. Die H_o -Gesamtfracht von 89.000 GJ, die in die Biologie eingetragen wird, kann zu 33 bis 51 % verringert werden; trotzdem liegt der obere Heizwert des Rottegutes aufgrund der Massenreduktion mit 8.950 bis 10.550 kJ/kg TS noch erheblich über dem Grenzwert der Deponieverordnung.

Deshalb ist nach der biologischen Behandlung eine weitere mechanische Aufbereitung erforderlich, in der die heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Anteile des Restmülls abgetrennt werden. Ausgehend von der in Kapitel 8.2 berechneten stofflichen Zusammensetzung der Restmüllfraktion < 80 mm und Berücksichtigung der Anreicherung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien im Rottegut aufgrund des Abbaus der Trockenmasse liegt deren Anteil am Rottegut zwischen 23 und 27 % TM. Diese Mischfraktion bestehend aus Kunststoffen, Verbundmaterialien, Holz/Gummi/Leder, Textilien, Kunststoffanteile der Windeln und Restfraktion, hat einen durchschnittlichen oberen Heizwert von etwa 26.700 kJ/kg TS und soll in der MBRA Allerheiligen mittels Siebung abgetrennt werden.

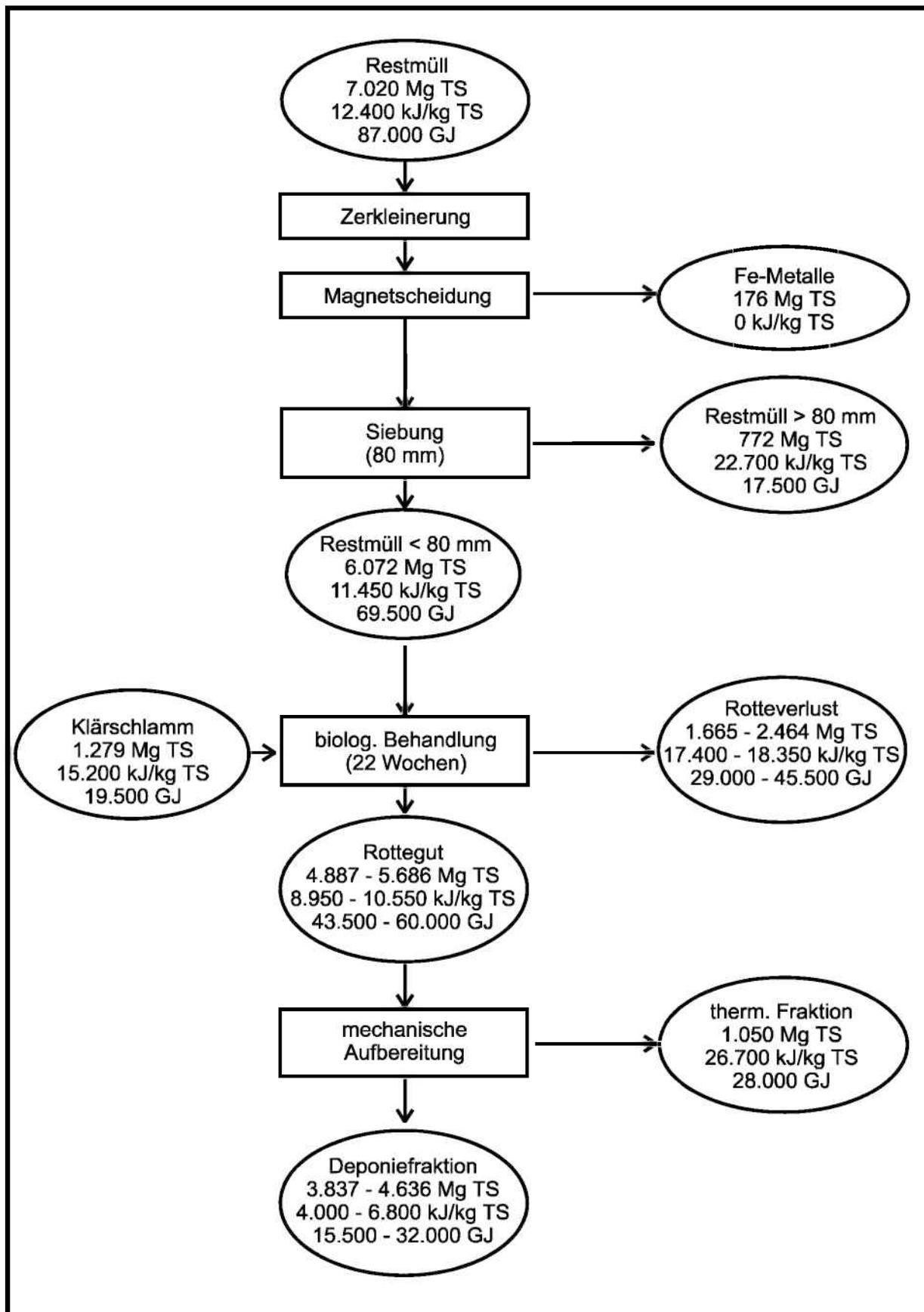


Abbildung 8.6: Prognostizierte TM- und H_o -Bilanz für die MBRA Allerheiligen ohne Abtrennung der heizwertreichen Materialien nach der Rotte
Die Aufstellung in Tabelle 8.4 verdeutlicht daß eine weitgehende Abtrennung dieser Stoffe

erforderlich ist, um den Grenzwert von 6.000 kJ/kg TS sicher einzuhalten. Für die Variante, in der das Rottegut nach der 22-wöchigen biologischen Behandlung noch einen oberen Heizwert von fast 10.600 kJ/kg TS aufweist wäre sogar die (nicht erreichbare)

100-prozentige Abscheidung der heizwertreichen Anteile erforderlich. Hier spielt der hohe H_o -Wert des Klärschlammes (10.200 kJ/kg TS nach der Rotte) die entscheidende Rolle. Ohne Klärschlamm könnte der Grenzwert vom Restmüllrottegut bei einem Abscheidegrad von 90 % mit 5.600 kJ/kg TS bereits sicher eingehalten werden.

Geht man davon aus, daß das gesamte Rottegut der MBRA Allerheiligen einen oberen Heizwert von knapp 9.000 kJ/kg TS aufweist, so reicht bereits eine 60-prozentige Abtrennung der heizwertreichen Stoffe, um den Grenzwert zu unterschreiten. Für den Regelbetrieb der MBRA Allerheiligen ist Abscheidegrad von mindestens 80 % anzustreben, um den Grenzwert der Deponieverordnung sicher einzuhalten. Für die Darstellung in Abbildung 8.6 wurde angenommen, daß 80 % der heizwertreichen Bestandteile abgetrennt werden.

Tabelle 8.4: Berechnete H_o -Werte für das Rottegut der MBRA Allerheiligen nach der Abtrennung heizwertreicher, biologisch nicht abbaubarer Materialien für unterschiedliche Wirkungsgrade

Rottegut	heizwertreiche Anteile		Abscheidegrade der mech. Aufbereitung			
	H_o [kJ/kg TS]	TM-Anteil [%]	H_o [kJ/kg TS]	50 %	80 %	90 %
10.550	23	26.700	8400	6.800	6.200	5.600
8.950	27	26.700	6.200	4.000	3.200	2.200

Abschließend kann hier festgehalten werden, daß bei konsequenter Umsetzung der Strategie des mechanisch-biologischen Restabfallsplittings (MBRS) vom gesamten Input (8.300 Mg TS) etwa 2,5 % als Fe-Metalle abgeschieden und verwertet werden können. Etwa 22 % (rund 1.800 Mg) mit einem durchschnittlichen H_o von etwa 25.000 kJ/kg TS können als thermisch verwertbare Leichtfraktion abgetrennt werden und 20 bis 30 % der Trockenmasse wird biologisch abgebaut (Rotteverlust). Der Anteil der Deponiefraction beträgt in diesem Fall zwischen 46 und 56 % bezogen auf der TM-Input der MBRA Allerheiligen. Von der gesamten energetischen Jahresfracht würden nach Abbildung 8.6 lediglich zwischen 15 und 30 % auf die Deponie gelangen.

9 Rotteversuche an der MBRA Allerheiligen

9.1 Konzeption und Durchführung der Versuche

9.1.1 Konzeption

Wie bereits in Kapitel 5.3 erwähnt, war die Anlage des Mürzverbandes 1996 die einzige großtechnische MBRA in Österreich, die für Rotteversuche zur Verfügung stand. Die Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen sollten zum einen unterschiedliche Verfahrensvarianten berücksichtigen und auf der anderen Seite den Regelbetrieb der Anlage möglichst wenig beeinflussen.

In erster Linie sollte hier die Frage geklärt werden, ob mit der Anlagenkonfiguration ein mechanisch-biologisch behandelter Reststoff erzeugt werden kann, der die Grenzwerte der Deponieverordnung (insbesondere den H_o -Grenzwert) einhält. Da ein $H_o < 6.000$ kJ/kg TS nur nach weitgehendem biologischen Abbau der organischen Substanz eingehalten werden kann, wurden auch die Leitparameter Wassergehalt und Glühverlust analysiert. Zudem sollte die Aussage abgesichert werden, daß die Einhaltung der Grenzwerte für die Schadstoffgehalte kein Problem darstellt. Da der Parameter H_o für die direkte Beschreibung der biologischen Stabilität des Deponiematerials genauso ungeeignet ist wie der Glühverlust oder TOC wurden zusätzlich Messungen zur Atmungsaktivität des Rottegutes durchgeführt und ausgewertet.

Basierend auf diesen Vorgaben wurde das in Abbildung 9.1 dargestellte Untersuchungsprogramm entworfen und umgesetzt. Insgesamt wurden 13 Chargen (Rottetunnel) je ca. 170 m³ für die großtechnischen Versuche herangezogen und der Weg des Materials durch die Betriebsanlage analytisch begleitet. Die Befüllung der 13 Intensivrottetunnel wurde im Zeitraum vom 6. November bis 4. Dezember 1996 durchgeführt und der Beginn der Extensivrotte für die einzelnen Chargen lag zwischen dem 20. November und 17. Dezember 1996. Die Nachreife wurde für die erste Versuchscharge am 16. Dezember 1996 begonnen und endete für die letzte Charge am 2. Mai 1997.

Der derzeitige Regelbetrieb der MBRA sieht zunächst eine 2-wöchige statische, druckbelüftete und bewässerte Intensivrotte des Gemischs aus kommunalem Restmüll (< 80 mm) und Klärschlamm in den Rottetunneln vor. Die anschließende statische, saugbelüftete Extensivrotte auf der Rotteplatte dauert 4 Wochen. Die Hauptrotte (Intensiv- und Extensivrotte) ist somit auf 6 Wochen angesetzt und wurde für die untersuchten 13 Chargen in gleicher Weise durchgeführt. Proben wurden vom In- und Output der Rottetunnel sowie nach der Extensivrotte gezogen und analysiert.

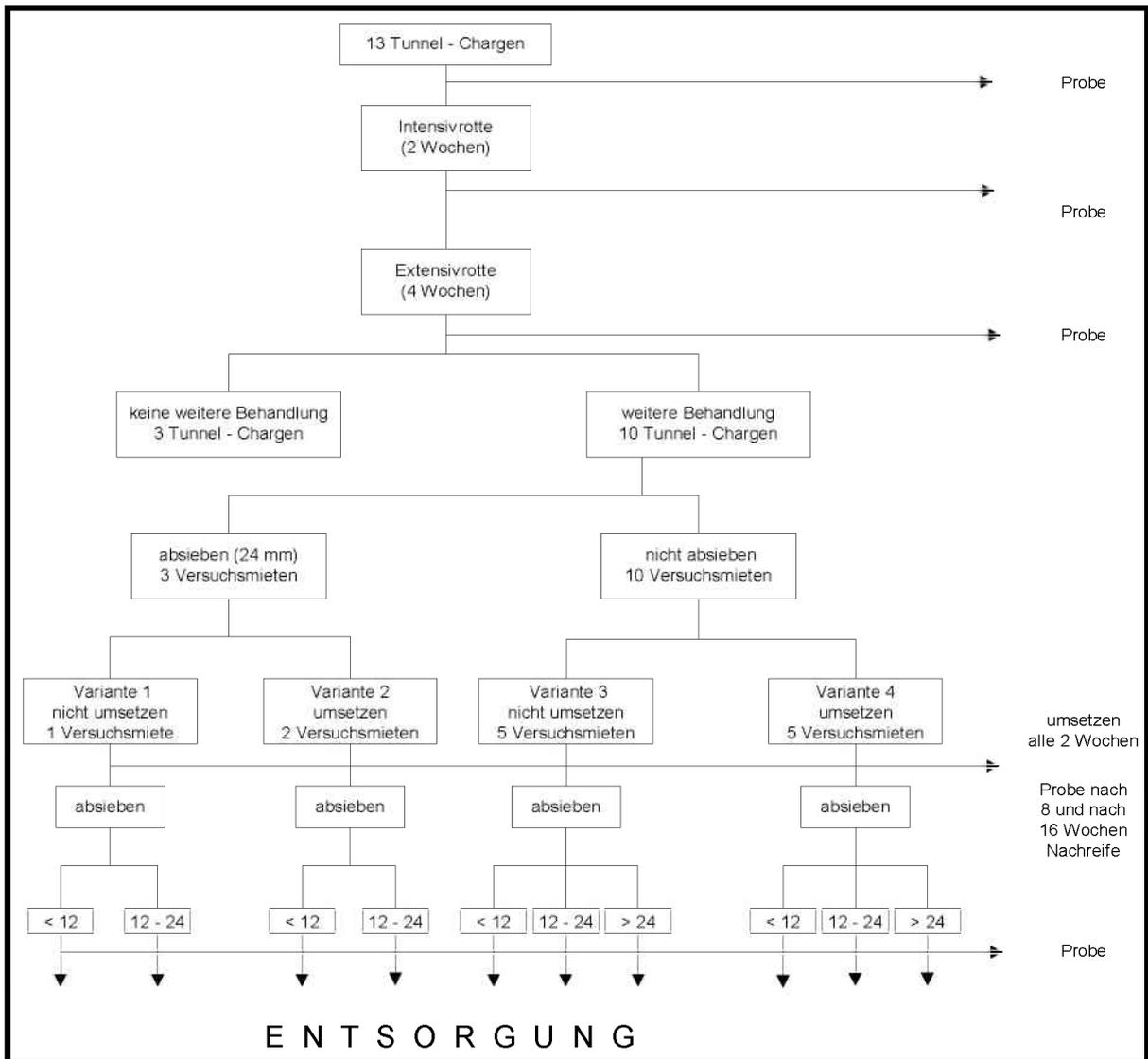


Abbildung 9.1: Untersuchungsprogramm zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen

Das Rottegut wird derzeit im Regelbetrieb nach diesen 6 Wochen aus betriebswirtschaftlichen Gründen deponiert. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurde das Material weitere 16 Wochen auf einer unbelüfteten Rotteplatte weiterbehandelt (Fertigrotte), wobei nach 8 Wochen sowie nach Abschluß der Fertigrotte weitere Proben gezogen und untersucht wurden. Aufgrund des Platzmangels konnten nach der Extensivrotte nur 10 der 13 Tunnelchargen für die weiteren Untersuchungen herangezogen werden. Von diesem Material wurden insgesamt 13 Versuchsmieten zu je 20 m³ angesetzt und dabei 4 Varianten untersucht. Die Bezeichnung der einzelnen Rottechargen leitet sich von der zeitlichen Abfolge der analytisch begleiteten Tunnelchargen ab; begonnen wird mit Charge 1 (Rottebeginn: 6.11.96). Für die abgesiebten Mieten wird der Zusatz der Körnung (< 24 mm) mit angegeben. Die 4 Varianten werden im folgenden näher erläutert:

Variante 1: Absiebung nach der Hauptrotte bei 24 mm, statische 16-wöchige Nachreife des Siebdurchgangs und Absiebung bei 12 mm

Das Rottegut wurde nach der Extensivrotte mittels Trommelsieb (24 mm Siebschnitt) abgesiebt und als statische Miete der 16-wöchigen Nachreife unterzogen. Anschließend wurde das Rottegut bei einem Siebschnitt von 12 mm abgesiebt. Da das Eingangsmaterial aufgrund der Absiebung nicht mit dem Output der Extensivrotte identisch war, wurde das Material < 24 mm nach der Absiebung separat untersucht.

Diese Variante entspricht der für die MBRA konzipierten Behandlungsweise und hat den Vorteil, daß durch die Ausschleusung eines Teilstroms nach der 6-wöchigen Hauptrotte eine geringere Hallenfläche für die Nachreife benötigt wird. Allerdings werden hier auch biologisch abbaubare Bestandteile > 24 mm ausgeschleust, die in der Fertigrotte noch biologisch umgesetzt werden könnten. Hier sind keinerlei rottebegleitende Maßnahmen, also weder ein Umsetzen (Belüftung) noch eine Bewässerung der Mieten, vorgesehen. Zum einen besteht somit die Gefahr des Austrocknens der Miete und zum anderen kann die Sauerstoffzufuhr, die ausschließlich per Diffusion erfolgt, unzureichend sein. Da bei diesem Versuchsansatz die geringste biologische Abbaurate zu erwarten ist, wurde lediglich eine Miete aufgesetzt. Diese Miete wird als Charge 3 (< 24 mm) bezeichnet.

Variante 2: Absiebung nach der Hauptrotte bei 24mm, quasidynamische, bewässerte 16-wöchige Nachreife des Siebdurchgangs und Absiebung bei 12 mm

Die Vorgehensweise entspricht der vorgenannten Variante mit dem Unterschied, daß die 2 aufgesetzten Mieten jeweils nach 14 Tagen mittels Radlader umgesetzt und je nach Bedarf per Hand bewässert worden sind. Aufgrund der rottebegleitenden Maßnahmen sind hier höhere Abbauraten zu erwarten. Die Mieten werden mit Charge 2 (< 24 mm) und Charge 6 (< 24 mm) bezeichnet.

Variante 3: Statische 16-wöchige Nachreife des gesamten Rottegutes und Absiebung bei 12 und 24 mm

Der gesamte Output aus der Extensivrotte wurde der 16-wöchigen Fertigrotte unterzogen und anschließend mittels Trommelsieb in 3 Fraktionen (< 12 mm, 12 mm < x < 24 mm und > 24 mm) getrennt. Rottebegleitende Maßnahmen wie Bewässerung und Belüftung waren nicht vorgesehen. Es wurden 5 Versuchsmieten aufgesetzt. Da das Rottegut nach der Extensivrotte teilweise einen sehr geringen Wassergehalt aufwies, wurde beim Aufsetzen von vier Mieten für die Fertigrotte ein günstiger Wassergehalt eingestellt. Eine der 5 Versuchsmieten wurde als Vergleich zu den anderen Mieten nicht bewässert und es kam zur erwarteten Trockenstabilisierung des Materials.

Diese Behandlungsart hat den Nachteil, daß der Siebdurchgang des Restmülls, nach

Abtrennung der Leichtfraktion > 80 mm, zusammen mit dem Klärschlamm durch alle biologischen Prozeßstufen geschleust werden muß und hierfür ein, im Vergleich zur Anlagenkonzeption, erhöhter Platzbedarf für die Nachreife erforderlich ist. Auf der anderen Seite können biologisch abbaubare Materialien > 24 mm während der Fertigrotte abgebaut werden. Vorteilhaft hinsichtlich der erreichbaren biologischen Abbaurate dürfte sich auch die zu erwartende bessere Durchlüftung des Materials, aufgrund der Partikelgröße bis zu 80 mm (die wiederum eine Vergrößerung des freien Porenvolumens zur Folge hat), auswirken. Bei dieser Variante besteht aber auch die Gefahr des Austrocknens der Miete, da keine Bewässerung vorgesehen ist. Im folgenden werden die für Variante 3 angesetzten Mieten Charge 3, Charge 10, Charge 11 und Charge 12 genannt. Die Versuchsmiete (Charge 1), die nach der Hauptrotte nicht bewässert wurde, wird auch als "Trocken-stabilisat" bezeichnet.

Variante 4: Quasidynamische, bewässerte 16-wöchige Nachreife des gesamten Rottegutes und Absiebung bei 12 und 24 mm

Diese Vorgehensweise entspricht der vorgenannten Variante mit dem Unterschied, daß die angesetzten Mieten jeweils nach 14 Tagen mittels Radlader umgesetzt und je nach Bedarf per Hand bewässert worden sind. Aufgrund der rottebegleitenden Maßnahmen ist hier eine bessere Sauerstoffversorgung gewährleistet und der Wassergehalt des Materials kann (wenn auch in engen Grenzen) optimiert werden. Somit handelt es sich hierbei um die aufwendigste Versuchsvariante, bei der die höchste biologische Abbaurate zu erwarten ist. Es wurden 5 Versuchsmieten (Chargen 2, 6, 8, 9 und 13) aufgesetzt.

9.1.2 Durchführung

In der österreichischen Deponieverordnung wird europaweit erstmals der obere Heizwert als Kriterium für die Deponierbarkeit von Abfällen herangezogen. Der Gesetzgeber hat es aber versäumt, eine praktikable und allgemein anerkannte Analysenvorschrift zur Bestimmung des H_o vorzugeben. Bis Sommer 1996 wurden nur vereinzelt Untersuchungen zum oberen Heizwert veröffentlicht, so daß im wesentlichen auf die analytischen Erfahrungen am IED zurückgegriffen werden mußte.

Da die größten Fehler nicht bei der Analyse selbst, sondern im Vorfeld bei der Probenahme und Probenaufbereitung verursacht werden, ist eine der jeweiligen Problemstellung angepaßte Vorgehensweise unerläßlich. Im Rahmen von Vorversuchen mußten deshalb insbesondere für die Probenahme und die Probenaufbereitung Techniken entwickelt werden, die repräsentative Ergebnisse ermöglichen und gleichzeitig mit einem noch akzeptablen Arbeitsaufwand verbunden sind. Im Rahmen der Untersuchungen war eine repräsentative Probenahme für folgende Materialien erforderlich:

- Input der Intensivrottetunnel
- Output der Intensivrottetunnel = Input für die Extensivrotte
- Output der Extensivrotte = Input für die Fertigrotte (Ausnahme: abgesiebte Chargen)
- Abgesiebte Chargen nach der Extensivrotte (< 24 mm)
- Rottematerial der Fertigrotte während der Behandlung
- Rottematerial nach Abschluß der Fertigrotte (Gesamtmischprobe)
- Abgesiebttes Rottegut (< 12 mm, 12 mm < x < 24 mm und > 24 mm) nach Abschluß der Fertigrotte

Die Arbeitsschritte Probenahme, Probenaufbereitung und Analysendurchführung werden in Anhang B für die relevanten Parameter und jeweiligen Probenahmepunkte erläutert. Trotz der gewählten sehr arbeitsaufwendigen Vorgehensweise sind im Rahmen der Untersuchungen Probleme aufgetreten, die teilweise mit der noch nicht optimierten Betriebsweise der MBRA Allerheiligen zu begründen sind. Auf der anderen Seite handelt es sich um grundsätzliche Probleme bei der Untersuchung von Abfällen, die i.d.R. ein sehr inhomogenes Gemisch darstellen. Die wesentlichen Punkte werden folgenden kurz erläutert:

Probenahme:

Die repräsentative Probenahme von Restmüllproben erfordert einen hohen Zeitaufwand von 1 bis 2 Stunden. Pro Tunnelcharge ist für die Input- und Outputprobe eine Menge von ca. 120-160 m³ so zu beproben, daß der durch die Probenahme erhaltene Teil des Restmülls (vermengt mit Klärschlamm), der aus logistischen Gründen nicht mehr als 8-10 kg ausmachen sollte, in seiner stofflichen Zusammensetzung (Müllfraktionen, Klärschlammanteil) und seinen chemischen Parametern (z.B. H₂O, Wassergehalt, organische und anorganische Schadstoffe) der Zusammensetzung der Grundgesamtheit entspricht. Bei der Befüllung eines Rottetunnels wird dem Restmüll entwässerter Klärschlamm zudosiert. Der Chargenmischer homogenisiert den Klärschlamm jedoch nicht optimal, so daß oft reine Klärschlammklumpen von mehreren Kilogramm Masse aus dem Mischer austreten. Zu Beginn der Befüllung und bei gelegentlichen Ausfällen der Klärschlammzudosierung tritt dagegen für eine gewisse Zeit nur Restmüll aus dem Mischer aus. Diese Inhomogenität des Restmüll-Klärschlamm-Gemisches gilt es bei der Probenahme auszugleichen.

Beim Austrag des Rottegutes aus dem Tunnel ist das zu beprobende Material in der Regel etwas homogener als bei der Befüllung, da es zum einen beim Eintrag in den Tunnel noch vermischt wird und zum anderen nach dem Austrag nochmals den Chargenmischer passiert. Andererseits ist festzuhalten, daß die Rotte in einem Tunnel nicht gleichmäßig verläuft. Es gibt stärker und schwächer durchlüftete Zonen und auch stärker und schwächer bewässerte Teile innerhalb eines Tunnels.

Bei der belüfteten Nachrotte gibt es ähnliche Schwierigkeiten. Ist das Material zu feucht, so kann die Luft das Rottegut nicht gleichmäßig durchströmen. Es bilden sich Kanäle aus, die stark austrocknen, während an anderen Stellen das Rottegut nicht durchströmt wird und

feucht bleibt. Beide Fälle sind ungünstig für den Rotteverlauf, da im ersten Fall die Sauerstoff- und im zweiten Fall die Wasserversorgung mangelhaft ist.

Diese Ausführungen verdeutlichen, daß es für die Beprobung einer Rottecharge unbedingt erforderlich ist, einen "repräsentativen" Querschnitt des gesamten Rottegrundes zu beproben, da das Material in sich sehr inhomogen ist. Beprobte wurde jeweils während der gesamten Zeit der Befüllung/Entleerung eines Tunnels bzw. des Abräumens einer Rottemiete, was pro Probenahme etwa 1-2 Stunden Zeit in Anspruch nimmt.

Großtechnische Siebversuche:

Im Versuchsverlauf wurden die Rottechargen nach 6 bzw. nach 22 Wochen abgesiebt. Die Ergebnisse der Absiebungen nach 6 Wochen zeigten, daß die Mieten bei einem Wassergehalt von 36 % nicht mehr abgesiebt werden können, da hier die Sieblochung verstopft und infolgedessen nur mehr sehr wenig Siebdurchgang zu verzeichnen ist. Das Rottegut verklumpt, so daß selbst bei freier Sieblochung im Siebüberlauf hohe Anteile der Feinfraktion zu finden sind. Andererseits gibt es mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt eine verstärkte Staubentwicklung, die bei den derzeitigen baulichen Gegebenheiten zu Belastungen der Innenluft führt, da keine gezielte Abluftabsaugung am Trommelsieb stattfindet.

Probenaufbereitung:

Um eine homogene und repräsentative Probe zu erhalten, sollte eine möglichst große Menge an Trockensubstanz aufbereitet werden. Je größer die Probenmenge ist, desto genauer und reproduzierbarer werden die Ergebnisse im allgemeinen. Mit Zunahme der aufzubereitenden Probenmenge steigt jedoch auch der Zeitaufwand zur Aufbereitung der einzelnen Probe an. Am IED wurde pro Probe etwa 500 g Trockensubstanz für die Analyse vorbereitet, was einem durchschnittlichen Arbeitsaufwand von ca. eine Stunde pro Probe entspricht. Aus der getrockneten Probe müssen alle Glas-, Stein- und Metallanteile händisch aussortiert werden, um die Mühlen nicht zu beschädigen. Nach der Zerkleinerung der vorbereiteten Probenmenge in der Schneidmühle (SM) auf < 10 mm werden 100-200 g des vorzerkleinerten Materials in der Ultrazentrifugalmühle (UZM) auf < 1 mm zerkleinert. Nach jeder Probe müssen die Zerkleinerungsaggregate gründlich gereinigt werden, um Vermischungen zu verhindern.

Ein Grundproblem bei der Zerkleinerung von Müllproben ist das Zusammentreffen von hart-spröden (Glas, Keramik, Steine), hart-duktilen (Metallen) und weich-elastischen (Kunststoffe, Textilien) Materialien. Ein Zerkleinerungsaggregat, das für alle diese Materialien gleichermaßen gut geeignet ist, existiert nicht, daher muß ein Kompromiß gefunden werden, der auf die Probe abgestimmt ist.

Nach der oben beschriebenen Vorgangsweise wird der größte Teil der zu analysierenden Probe zerkleinert. Elastische Anteile des Restmülls wie Textilien und Kunststofffolien führen jedoch immer wieder zu Verstopfungen der Mühlen, da sie oft sehr großformatig sind und

sich nur sehr schwer zerkleinern lassen. Kunststoffolien werden in der Zentrifugalmühle nur schwach zerkleinert, so daß die Probe mehrmals dieses Zerkleinerungsaggregat durchlaufen muß, bevor die gesamte Probe die gewünschte Körnung besitzt. Textilien und andere faserige Stoffe führen bei der zerkleinerten Probe zu einer Entmischung. Es bildet sich eine "Watte", die auch durch mehrmalige Zerkleinerung in der Schneidmühle nicht aufgelöst werden kann. Das restliche zerkleinerte Material trennt sich als feines Pulver von der "Watte" ab.

Bei der Zerkleinerung mittels UZM auf < 1 mm ist zu bemerken, daß es durch die hohe thermische Belastung der Proben zu einem "Abbau" der Heizwertfracht kommen kann. Bei einigen Proben tritt beispielsweise eine Verkohlung auf. Da die gröbere Mahlung jedoch auch größere Schwankungen in den Analyseergebnissen zur Folge hat, wurde trotz des Problems der thermischen Zersetzung auf 1 mm Korngröße zerkleinert.

Ein weiteres Problem stellen die Störstoffe dar. Trotz manuellem Aussortieren der Störstoffe (Glas, Steine, Metalle) können nicht alle Anteile entfernt werden, da sie entweder zu klein sind (\rightarrow hoher Zeitaufwand) oder nicht entdeckt werden. Dies führt zwangsläufig zu Schäden an den Zerkleinerungsaggregaten, die neben den hohen Personalkosten auch hohe Materialkosten bei der Probenaufbereitung nach sich ziehen.

Analysen:

Wie bereits erwähnt streuen die Analyseergebnisse teilweise aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung der Proben erheblich. Um einen Eindruck davon zu erhalten, wie stark die Meßwerte für eine Probe streuen können, wurde am IED der **obere Heizwert** einer Probe 21-fach bestimmt. Es handelt sich bei dieser Probe um ein fertig gerottetes Material nach 22 Wochen biologischer Behandlung, das die Körnung 24-80 mm besitzt und künftig nicht deponiert kann sondern thermisch zu verwerten ist. Die Einzelwerte lagen im Bereich von 11.000 bis 24.500 kJ/kg TS mit einem arithmetischen Mittelwert von 17.200 kJ/kg TS und einer Standardabweichung von etwa 4.400 kJ/kg TS (über 25 %).

Diese Messungen stellen ein Extrembeispiel dar, in der Regel wurden geringere Meßwertunterschiede verzeichnet und diese nahmen im Rotteverlauf ab. Die Schwankungen der Meßwerte hängen stark von der Korngröße des aufbereiteten Materials ab und fallen bei den Körnungen 0-12 und 12-24 mm deutlich geringer aus, so daß die Analysenwerte des Rotteendproduktes für die Körnungen, die von größerem Interesse sind, viel genauer sind als die Werte des Rotteinputs. Am IED wurde daraufhin beschlossen, daß mindestens 5 Einzeluntersuchungen gemacht werden, um zu einem vertretbaren Mittelwert zu kommen, was die Untersuchungen allerdings sehr langwierig gestaltete.

Auch beim Glühverlust wurden zu Beginn der Analysen hohe Schwankungsbereiche festgestellt. Hier behalf man sich schließlich mit einer höheren Einwaage für den Glühverlust (bis zu 20 g), der dreifach bestimmt wurde. Bei den TOC-Analysen konnte gerätebedingt nicht auf eine höhere Einwaage ausgewichen werden, daher wurden bei größeren

Meßwertunterschieden bis zu 5 Einzelbestimmungen durchgeführt.

Tabelle 9.1: Spannweite für die Einzelbestimmungen der Parameter Glühverlust, TOC und H_o für das Rottegut nach 22 Wochen mit den Körnungen 0-12 und 12-24 mm am Beispiel von 2 "durchschnittlichen" Proben

Messung	Rottegut 0-12 mm			Rottegut 12-24 mm		
	GV [% TS]	TOC [g/kg TS]	H_o [kJ/kg TS]	GV [% TS]	TOC [g/kg TS]	H_o [kJ/kg TS]
1	27,9	167	4.920	372	365	12.800
2	28,3	148	5.760	403	345	13.240
3	28,9	159	5.750	380	355	13.500
4	-	-	6.220	-	-	13.800
5	-	-	5.470	-	-	14.010
Mittelwert	28,4	15,8	5.624	38,5	35,5	13.470
Standardabw. [absolut]	0,5	0,9	477	1,6	1,0	475
Standardabw. in [%]	1,8	5,7	8,5	4,2	2,8	3,5

Um sich ein Bild von den Schwankungsbreiten der Einzelbestimmungen von Glühverlust, TOC und H_o machen zu können, sind in Tabelle 9.1 die einzelnen Meßwerte für 2 "durchschnittliche" Proben mit der Körnung 0-12 bzw. 12-24 mm zusammengestellt. Wie zu erwarten ist die Reproduzierbarkeit der H_o -Bestimmung im Grenzwertbereich am schlechtesten. Die Standardabweichung beträgt ca. 480 kJ/kg TS bzw. 8,5 %. Aber auch die Standardabweichung der TOC-Messung ist mit 5,7 % relativ hoch. Insgesamt gesehen handelt es sich aber um akzeptable Reproduzierbarkeiten für die Untersuchungen im Rahmen der Rotteversuche an der MBRA Allerheiligen.

Trotzdem ist die analytische Bestimmung des oberen Heizwertes ein kritischer Punkt. Gemäß Deponieverordnung dient die ÖNORM C 1138 als analytische Grundlage. Diese Analysenvorschrift wurde für homogene feste und flüssige Brennstoffe wie Kohle und Heizöl entwickelt und ist für die Abfallanalytik nur bedingt geeignet. Die Probleme liegen hier insbesondere im Bereich der Probenahme und Probenaufbereitung.

Der österreichische Gesetzgeber hat in der Deponieverordnung mit dem H_o einen neuen Parameter als Grenzwert für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle eingeführt. Eine allgemein anerkannte und praxistaugliche Vorgehensweise für die Probenahme, Probenaufbereitung und Durchführung der H_o -Bestimmung gibt es bisher nicht. Aus diesem Grund wurde auf Initiative des Bundesministeriums für Umwelt Jugend und Familie (BMUJF) im Österreichischen Normungsinstitut eine Arbeitsgruppe eingesetzt, in der auch das IED vertreten ist. Diese Arbeitsgruppe soll nun möglichst schnell auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse eine Analysenvorschrift erarbeiten. Neben dem Einsatz der handelsüblichen Kleinkalorimeter (Einwaage ca. 1 g), die in einigen österreichischen Laboratorien zur Verfügung stehen, sind der Bau und Betrieb eines Großkalorimeters (Einwaage ca. 15 kg)

und 3 halbtechnische Verbrennungsversuche (Durchsatz jeweils ca. 1 Mg) vorgesehen. Ergebnisse sind aber frühestens im Frühjahr 1999 zu erwarten.

Insbesondere für die Betreiber von MBRA ist es sehr wichtig, daß möglichst schnell eine praxistaugliche Meßvorschrift zur Bestimmung des oberen Heizwertes zur Verfügung steht, die durch Ringversuche abgesichert ist.

9.2 Ergebnisse

9.2.1 Parameteränderungen im Verlauf der Rotte

9.2.1.1 Wassergehalt

Die analytisch bestimmten und in den folgenden Graphiken dargestellten Wassergehalte stellen bei der Fertigrotte jeweils den Zustand der Miete vor der Bewässerung dar, so daß sich optisch kaum ein Unterschied zwischen bewässerten und nicht bewässerten Mieten ergibt. Deutlich zu sehen ist dagegen, daß nach 6 Wochen bei den meisten Mieten mit niedrigem Wassergehalt eine Bewässerung vorgenommen wurde, da hier vor und nach der Bewässerung eine Bestimmung des Wassergehaltes durchgeführt worden ist. Gegen Ende der Fertigrotte wurde die Bewässerung eingestellt, damit der Wassergehalt sinkt und das Rottegut besser abgesiebt werden kann.

Das **Trockenstabilisat**, dessen Wassergehalt im Verlauf der Rotte in Abbildung 9.2 dargestellt ist, wurde nach der Hauptrotte nicht mehr bewässert. Der Wassergehalt ist während der 16-wöchigen Fertigrotte von ohnehin geringen 30 auf 20,6 % abgesunken. Bei den Glühverlustuntersuchungen zeigte sich, daß wie zu erwarten kein nennenswerter biologischer Abbau innerhalb der 16 Wochen zu verzeichnen war. Die Siebeigenschaften nach 22 Wochen sind jedoch hervorragend (siehe auch Kapitel 9.2.2).

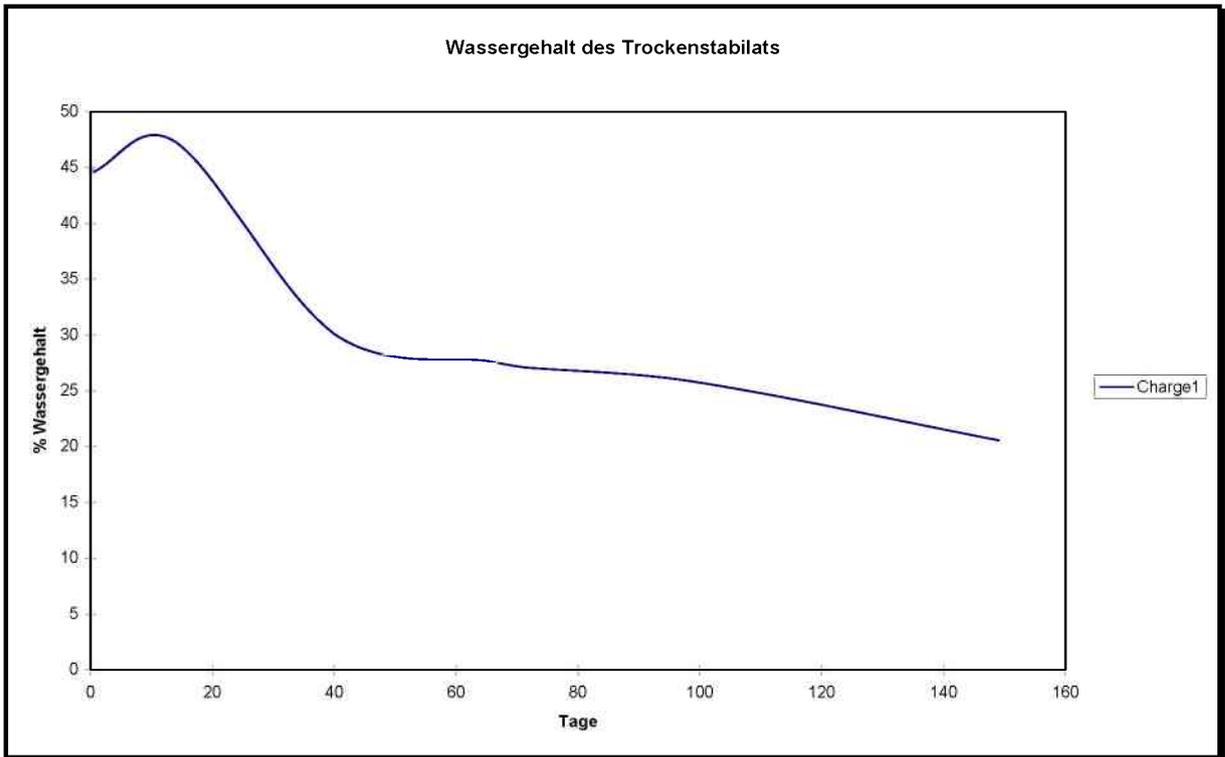


Abbildung 9.2: Wassergehalt im Rotteverlauf der nicht bewässerten Charge (Trockenstabilisat)

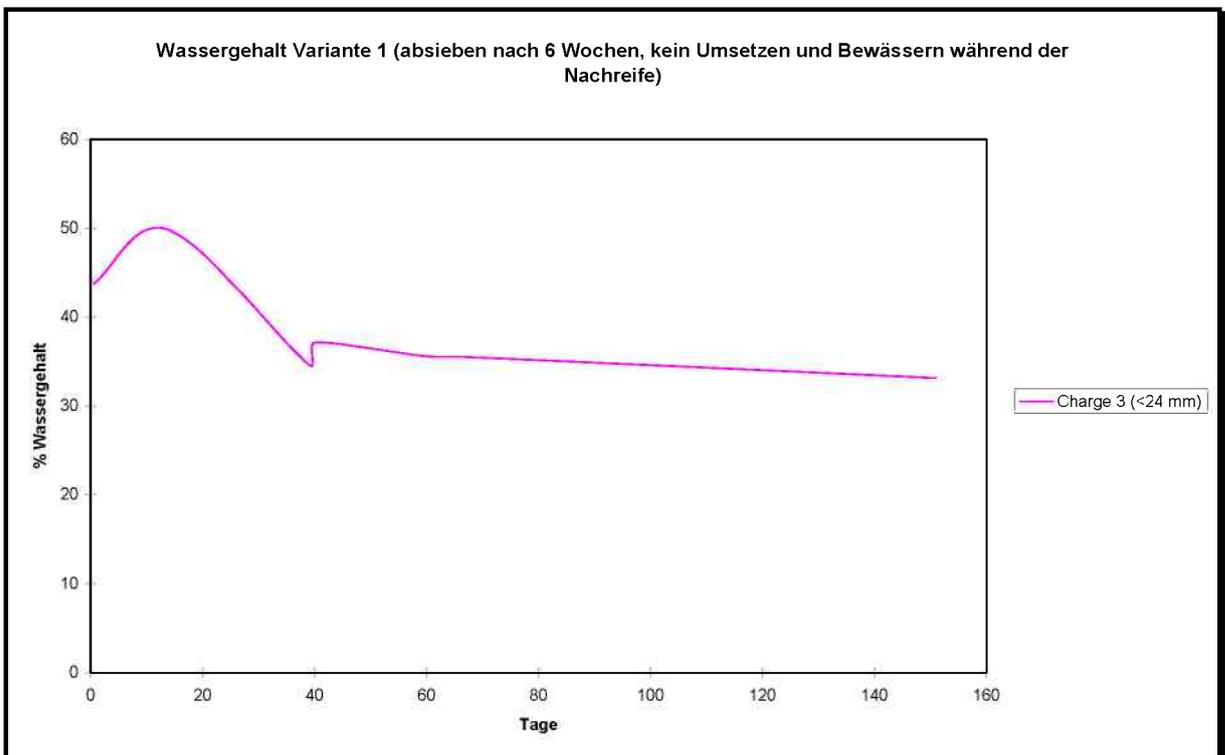


Abbildung 9.3: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Variante 1
Bei den abgeseibten Mieten der **Variante 1 und 2** zeigte sich, daß das Rottegut, aufgrund

des geringeren Strukturanteils, bereits bei einem Wassergehalt von 35 bis 37 % verklebte. Deshalb mußte mit relativ geringen Wassergehalten gearbeitet werden, um eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Versuchsmieten zu ermöglichen (Abb. 9.3 und 9.4).

Die Versuchsmieten der **Variante 3** hatten zu Beginn der Hauptrotte einen Wassergehalt zwischen 39 auf 48 %. Nach Abschluß der 22-wöchigen Rotte lag der Wassergehalt von 2 Versuchsmieten bei ca. 35 % und die anderen beiden Ansätze hatten einen durchschnittlichen Wassergehalt von etwa 45 %. Der Hauptgrund für die hohen Wassergehalte nach der Rotte dürfte die statische Versuchsführung (kein Umsetzen der Mieten) sein. Hier sind erhebliche Probleme bei der Absiebung des Rottegutes zu erwarten.

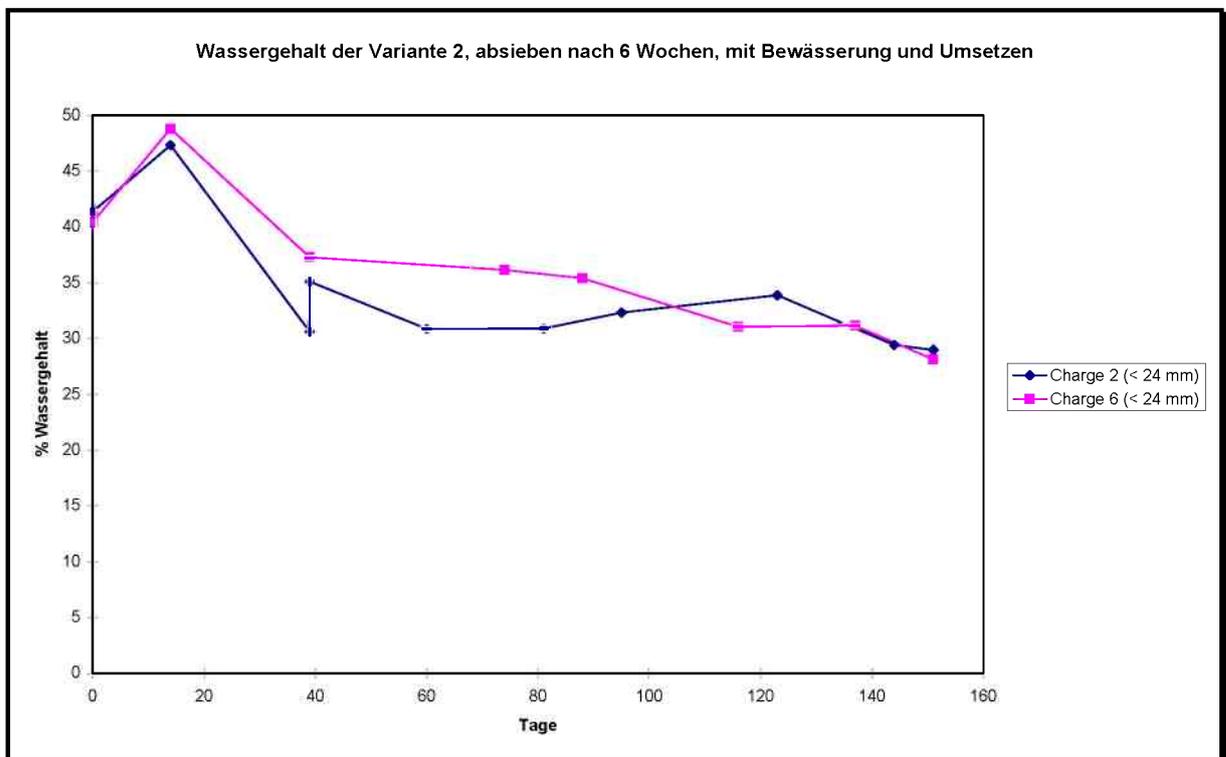


Abbildung 9.4: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Variante 2

Bei der **Variante 4** wurden die Chargen 2, 6, 8 und 9 nach der Hauptrotte regelmäßig auf einen Wassergehalt von ca. 40 - 45 % eingestellt. Die Werte in der Graphik sind die Wassergehaltswerte jeweils vor der Bewässerung. Dies erzeugt den Eindruck einer eher trockenen Versuchsdurchführung. Gegen Ende der Fertigrotte wurde die Intensität der Bewässerung verringert und der Wassergehalt der Versuchsmieten 2, 6, 8 und 9 ging auf etwa 33 % zurück. Die Charge 13 wurde nicht bewässert, um den Wassergehalt von 50 % nach der Hauptrotte auf einen Wassergehalt von 38,5 % zu drücken. Trotzdem sind auch hier Probleme bei der Absiebung zu erwarten.

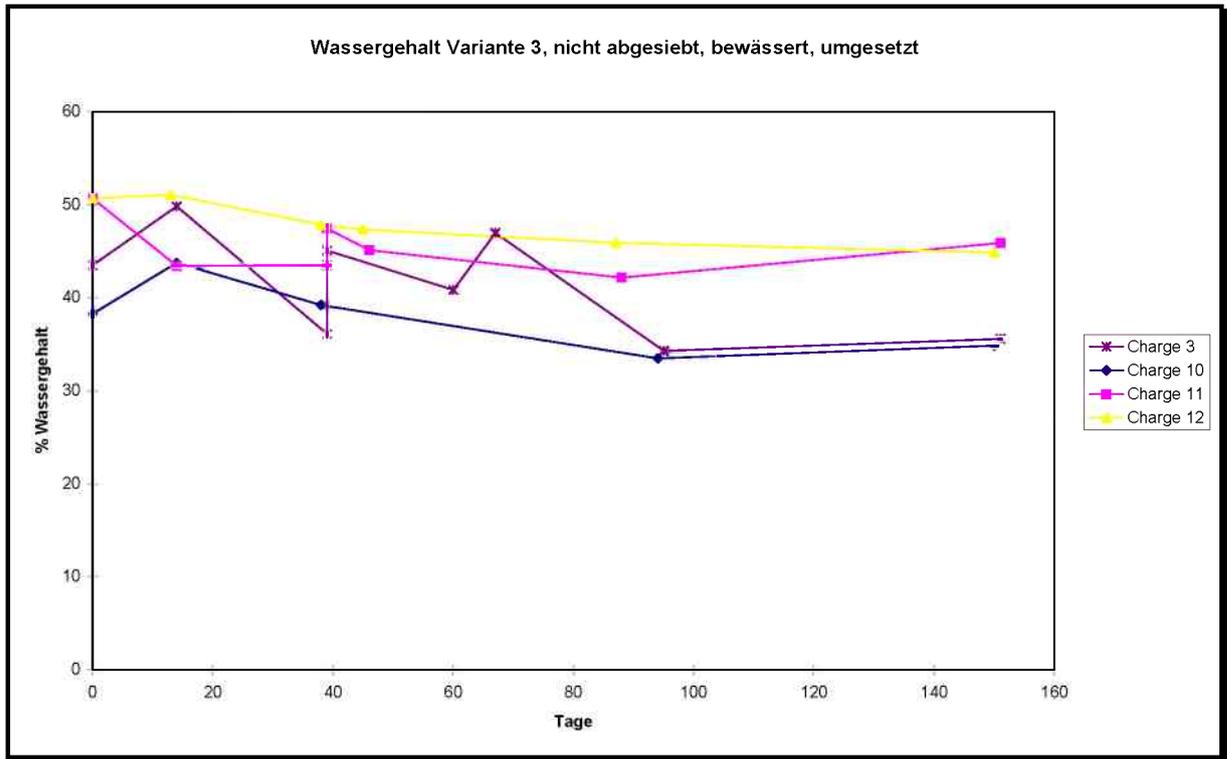


Abbildung 9.5: Wassergehaltes im Rotteverlauf für die Variante 3

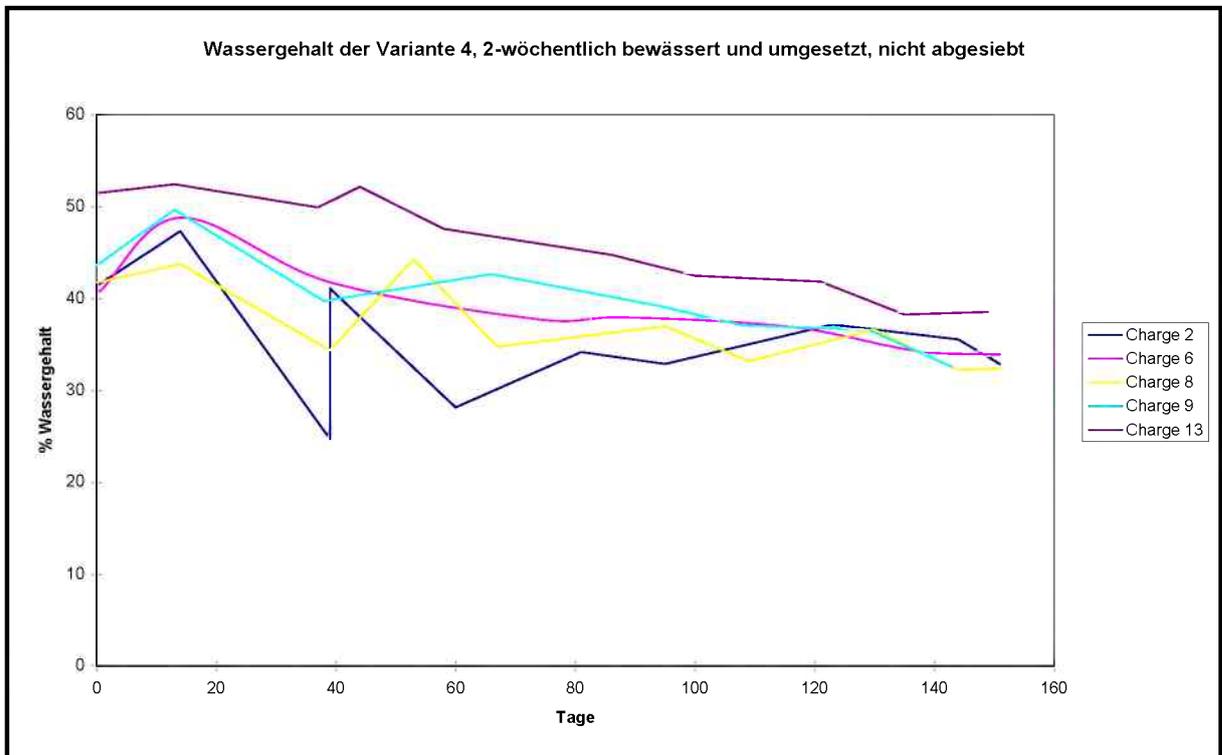


Abbildung 9.6: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Chargen der Variante 4

9.2.1.2 Abbau der organischen Substanz

Der Abbau der organischen Substanz lässt sich durch die Verringerung des Glühverlustes im Verlauf der Rotte beschreiben. Wie in Abbildung 9.1 dargestellt wurden im Verlauf der Rotte je Versuchsansatz 5 Proben gezogen und deren Glühverlust bestimmt. Der Abbaugrad der organischen Substanz kann mit Hilfe folgender Formel berechnet werden:

$$AG_{os}(t) = \left(1 - \frac{A(0) \cdot GV(t)}{A(t) \cdot GV(0)} \right) \cdot 100$$

AG_{os} = Abbaugrad der org. Substanz in %
 A = Aschegehalt in %
 GV = Glühverlust in %
 t = Zeitpunkt t

Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 9.7 und 9.8 als jeweilige Mittelwerte für die einzelnen Versuchsvarianten graphisch dargestellt.

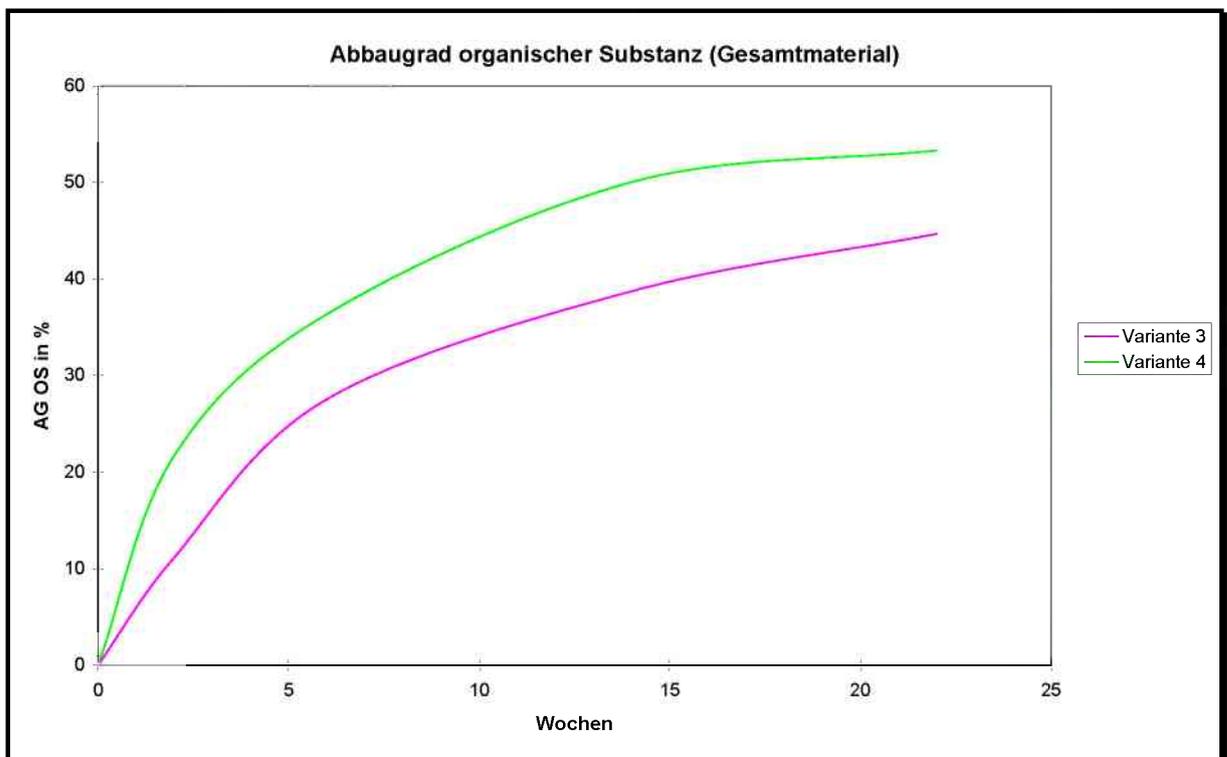


Abbildung 9.7: Abbaugrad der organischen Substanz für das Material 0-80 mm der Varianten 3 und 4

In Abbildung 9.7 sind die **Abbaugrade für die Fraktion 0-80 mm der Varianten 3 und 4** (ohne Trockenstabilat) dargestellt. Der biologische Abbaugrad ist wie zu erwarten bei der Variante 4 (mit 2-wöchentlichem Umsetzen und Bewässern) deutlich höher als bei Variante 3. Die Abbaugrade der einzelnen Rottechargen bewegen sich für die Varianten 3 und 4 zwischen 28 und 62 %, wobei der Mittelwert für Variante 3 bei ca. 45 % und für Variante 4 bei etwa 53 % liegt. Auf Basis der theoretischen Betrachtungen in Kapitel 8 wäre für den durchschnittlichen Gesamtinput der MBRA Allerheiligen mit einer Abbaurrate der organischen Substanz von ca. 39 bis 59 % zu rechnen. Die ermittelten praktischen Werte liegen innerhalb dieser Spanne, wobei insbesondere im Rottegut der Variante 3 noch ein erhebliches Potential an biologisch abbaubarem Material zu vermuten ist. Aber auch für die Ansätze der Variante 4 sind bei optimierter Betriebsführung weitere Verbesserungen zu erwarten.

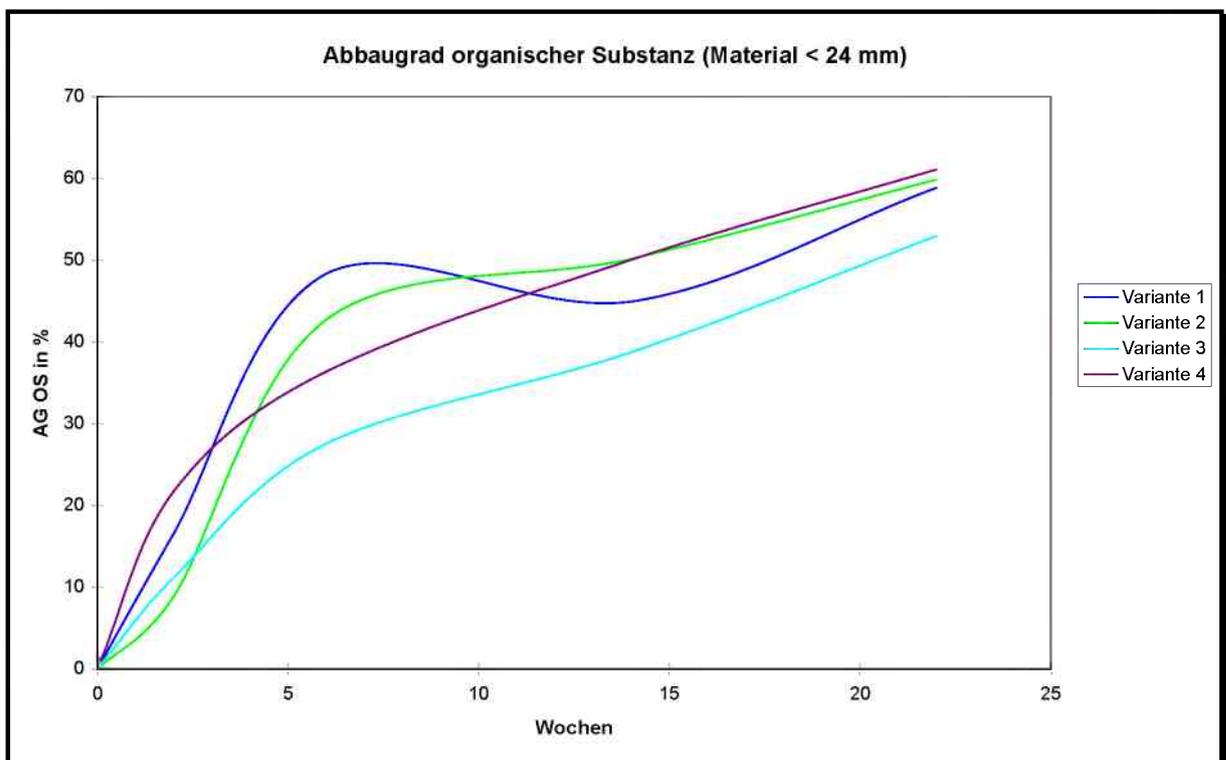


Abbildung 9.8: Abbaugrad der organischen Substanz für das Material 0-24 mm der Varianten 1 bis 4

In Abbildung 9.8 wird versucht, die **Abbaugrade für die Fraktion < 24 mm** graphisch darzustellen. Dabei ist anzumerken, daß hier für die Varianten 1 und 2 beim Input und nach der Intensivrotte die Glühverlustwerte der Fraktion 0-80 mm und ab der 7. Rottewoche die Glühverlustwerte der Fraktion 0-24 mm verwendet worden sind. Bei Varianten 3 und 4 wurden die Abbaugrade dagegen auf Basis der Glühverlustwerte von Input, nach der Intensiv- und Extensivrotte und nach 14 Wochen Rottezeit jeweils vom Material 0-80 mm berechnet und erst nach 22 Wochen die Glühverluste der Fraktion 0-24 mm (gewichtete) Mittelwerte aus den Fraktionen 0-12 und 12-24 mm) verwendet. Daher steigt der Abbaugrad

der organischen Substanz für die Varianten 3 und 4 zu Beginn der Rotte nicht so stark an wie bei den Varianten 1 und 2. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die Datenbasis für die Varianten 1 und 2 für belastbare Aussagen unzureichend ist. Deshalb haben die Ergebnisse der folgenden Graphik primär qualitativen Charakter.

Am besten schneidet auch beim Material < 24 mm die Variante 4 ab, wenn auch die Unterschiede zwischen den Varianten 1, 2 und 4 sehr gering sind. Die Abbaugrade der organischen Substanz liegen bei den einzelnen Versuchschargen zwischen 43 und 66 %. Variante 4 hat mit 61 % den höchsten Mittelwert, Variante 3 kommt dagegen nur auf 53 %. Variante 1 liegt mit 59 % nach Variante 2 (60 %) an dritter Stelle. Wie bereits erwähnt ist der in Abbildung 9.8 dargestellte Abbaugrad der organischen Substanz nicht (ganz) korrekt, da für die Glühverlustbestimmung zu den unterschiedlichen Zeiten verschiedene Körnungen verwendet werden.

9.2.1.3 Verminderung des oberen Heizwertes

Für sämtliche Versuchschargen wurde zu Beginn der Rotte und nach 22 Wochen Rottedauer der obere Heizwert bestimmt, wobei nach 22 Wochen Rotte die Fraktionen nach der Absiebung (0-12 mm, 12-24 mm und 24-80 mm) einzeln analysiert worden sind. Die Ergebnisse sind für die Einzelchargen (Ausnahme: Trockenstabilisat) und als Mittelwerte für die Varianten in Tabelle 9.2 zusammengestellt. Außerdem werden die Mittelwerte für die Varianten mit Absiebung (1 und 2) bzw. ohne Absiebung (3 und 4) nach 6 Wochen Rotte und die Gesamtmittelwerte angeführt.

Der mittlere H_o für den Input in die Biologie beträgt 13.200 kJ/kg TS und ist damit um etwa 9 % höher als der, in Kapitel 8 für den durchschnittlichen Input berechnete, obere Heizwert von 12.100 kJ/kg TS. Ein Grund hierfür sind die erhöhten H_o -Werte für den Klärschlamm von 16.200 kJ/kg TS im Winter 1996 (Jahresmittel 15.200 kJ/kg TS). Außerdem können Gewerbeabfälle, die über die kommunale Restmüllsammlung erfaßt werden, zu erhöhten oberen Heizwerten und größeren Schwankungen führen. Die Spannweite für den Input der Intensivrottetunnel beträgt 10.800 bis 16.600 kJ/kg TS. Der durchschnittliche H_o für die Variante 3 liegt mit 14.600 kJ/kg TS um fast 11 % höher als der Gesamtmittelwert.

Als potentiell Deponiematerial kommen die Fraktionen 0 bis 24 mm in Frage. Wie zu erwarten sind die oberen Heizwerte für **Variante 1** sowohl für die Fraktion < 12 mm als auch für das Material von 12 bis 24 mm am höchsten (Ausnahme: Fehlversuch von Variante 3 Charge 12). Da bei Variante 1 nach der Absiebung in den letzten 16 Wochen keine rottebegleitenden Maßnahmen (Umsetzen, Bewässern) durchgeführt wurden, wurde der Grenzwert der Deponieverordnung für beide Fraktionen weit überschritten. Das Rotte-gut < 12 mm aus **Variante 2** hat einen geringeren mittleren H_o -Wert von 5.700 kJ/kg TS, was auf die rottebegleitenden Maßnahmen zurückzuführen ist. Die Fraktion von 12 bis 24 mm der Variante 2 hat einen oberen Heizwert von durchschnittlich 7.400 kJ/kg TS und damit gemäß

Deponieverordnung nicht ablagerbar.

Tabelle 9.2: Obere Heizwerte der einzelnen Chargen der Varianten 1 bis 4 zu Rottebeginn und nach der Absiebung nach 22 Wochen Rotte für die einzelnen Siebfractionen in [kJ/kg TS]

Fraktion	Rottebeginn	nach 22 Wochen Rotte		
	0-80 mm	0-12 mm	12-24 mm	> 24 mm
Variante 1 Charge 3 (< 24mm)	13.600	7.100	10.400	-
Variante 2 Charge 2 (< 24 mm)	13.200	5.900	7.700	-
Variante 2 Charge 6 (< 24 mm)	10.800	5.500	7.100	-
Mittelwert Varianten 2	12.000	5.700	7.400	-
Mittelwert Varianten 1 und 2	12.500	6.200	8.400	-
Variante 3 Charge 3	13.600	5.800	5.900	15.600
Variante 3 Charge 10	16.600	5.200	8.900	22.600
Variante 3 Charge 11	14.300	6.200	8.000	10.300
Variante 3 Charge 12	14.000	(9.000) ¹⁾	10.300	13.500
Mittelwert Variante 3	14.600	5.800	8.300	15.500
Variante 4 Charge 2	13.200	4.900	7.000	11.700
Variante 4 Charge 6	10.800	4.800	7.100	21.000
Variante 4 Charge 8	11.900	5.600	(13.500) ¹⁾	14.200
Variante 4 Charge 9	11.400	5.100	7.500	12.500
Variante 4 Charge 13	15.100	6.100	8.100	15.900
Mittelwert Variante 4	12.500	5.300	7.400	15.100
Mittelwert Varianten 3 und 4	13.400	5.500	7.900	15.300
Mittelwert Varianten 1 bis 4	13.200	5.700	8.000	15.300

1) das Analysenergebnis wurde bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt

Für die **Variante 3** ist die Fraktion < 12 mm deponierbar, wenn man das Ergebnis der Charge 3 bei der Mittelwertbildung nicht berücksichtigt. Der durchschnittliche H_o liegt in diesem Fall bei 5.800 kJ/kg TS. Die Fraktion 12-24 mm der Variante 3 hat noch einen oberen Heizwert von 8.300 kJ/kg TS und ist nicht deponiefähig. Wie zu erwarten, wurden die besten Ergebnisse für **Variante 4** (quasidynamische, bewässerte 16-wöchige Nachreife des gesamten Rottegutes < 80 mm) erzielt. Der mittlere H_o beträgt für die Fraktion < 12 mm 5.300 kJ/kg TS, liegt aber für die Fraktion 12-24 mm wie bei Variante 2 mit 7.400 kJ/kg TS noch weit über dem Grenzwert der Deponieverordnung. Trotzdem ist die Behandlung nach Variante 4 im Vergleich zur Variante 2 die effektivere biologische Behandlungsmethode, was durch den Vergleich der Ergebnisse für das gleiche Ausgangsmaterial belegt werden kann

(Charge 2 und Charge 6). Der obere Heizwert ist für das Material < 12 mm bei Variante 4 um 13 bis 17 % geringer als für Variante 2 und für das Material von 12-24 mm sind bis zu 9 % geringere H_o -Werte gemessen worden.

Auf Basis der Gesamtmittelwerte läßt sich feststellen, daß nur die Fraktion < 12 mm den Grenzwert der Deponieverordnung unterschreitet (5.700 kJ/kg TS) und die Fraktion 12-24 mm mit ca. 8.000 kJ/kg TS nicht deponiefähig ist. Dies gilt auch für die Variante 4. Wie in Kapitel 9.2.1.2 bereits erläutert, liegt der Abbaugrad für die organische Substanz für Variante 4 durchaus im erwarteten Bereich. Deshalb dürfte der Hauptgrund für die relativ hohen oberen Heizwerte der Fraktion 12-24 mm die unzureichende Abtrennung von heizwertreichen Materialien sein. Ein Indiz dafür ist auch der gemessene geringe durchschnittliche H_o von 15.300 kJ/kg TS für die Fraktion > 24 mm. Bei einer optimierten Abtrennung wie sie im Rahmen der theoretischen Betrachtungen in Kapitel 8 angenommen wurde, ist mit einem oberen Heizwert von über 25.000 kJ/kg TS zu rechnen. Auf diese Problematik wird in Kapitel 9.2.2 tiefer eingegangen.

9.2.1.4 Schadstoffgehalte

Von 3 Chargen wurden die **Schadstoffgesamtgehalte** vom Rotteinput und Rotteoutput ermittelt. Beim Rotteoutput der Chargen wurden jeweils die beiden Fraktionen 0-12 mm und 12-24 mm analysiert, da diese Fraktionen für die nachfolgende Deponierung in Frage kommen. Die Analysenwerte sind Tabelle 9.3 zusammengestellt.

Die Konzentrationen der Schwermetalle liegen alle weit unterhalb der Grenzwerte gemäß Tabelle 7, Anlage 1 der Deponieverordnung. Relativ hoch ist der Zinkgehalt für Charge 2 in der Fraktion 0-12 mm, der den Grenzwert mit 2.861 mg/kg TS zu rund 57 % ausschöpft. Die geringsten Relativwerte wurden für Arsen und Kobalt gemessen; selbst deren Höchstgehalte betragen lediglich 2,4 bzw. 5,5 % der zulässigen Konzentrationen.

Der für das Rottegut aus der MBR nicht relevante Grenzwert für den gesamten organisch gebundenen Kohlenstoff (TOC) von 5 % kann auch von sehr lange gerottetem Restmüll nicht eingehalten werden. Die hier ermittelten TOC-Werte von 22 Wochen lang gerottetem Material bewegen sich zwischen 18,4 und 26,5 % TS. Der einschlägige Alternativgrenzwert für den oberen Heizwert von 6.000 kJ/kg TS wird von den beiden Chargen 2 (Variante 2) und 9 (Variante 4) für die Fraktion 0-12 mm eingehalten, während der Grenzwert für die Charge 12 (Variante 3) überschritten wird, was unter anderem auf Probleme bei der Absiebung (zu hoher Wassergehalt) zurückzuführen ist. Die Fraktionen 12-24 mm weisen obere Heizwerte zwischen 7.500 und 11.400 kJ/kg TS auf und sind nicht deponierbar.

Die Analysenwerte für die Summenparameter der organischen Schadstoffe POX, Kohlenwasserstoffe und PAK liegen deutlich unter den Grenzwerten der Deponieverordnung. Die

ausblasbaren organischen Halogenverbindungen (POX) liegen um bis zu 6 Zehnerpotenzen unterhalb des Grenzwertes von 1.000 mg/kg TS. Die Summe der Kohlenwasserstoffe liegt meist im Bereich um 2.000 mg/kg TS und damit um den Faktor 10 unterhalb des Grenzwertes. Deutlich zu erkennen ist der Rückgang der Kohlenwasserstoff-belastung um über 60 %, da alle Werte des Eingangsmaterials über 6.000 mg/kg TS liegen. Die Gründe hierfür sind die Absiebung und der biologische Abbau organischer Anteile. Die Konzentrationen der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) liegen in der Regel unter 10 mg/kg TS. Lediglich die Fraktion 0-12 mm der Charge 2 liegt mit 44,3 mg/kg TS deutlich über den restlichen Werten; der Grenzwert von 100 mg/kg TS wird aber auch von dieser Probe sicher eingehalten.

Durch diese Untersuchungen kann nochmals belegt werden, daß die Einhaltung der Grenzwerte zum Gesamtschadstoffgehalt mit Ausnahme des oberen Heizwertes durch die MBR bereits heute sicher gewährleistet wird. Allerdings ist hier kritisch anzumerken, daß diese Feststellung auch für den unbehandelten Input der MBRA Allerheiligen, bestehend aus kommunalem Restmüll und entwässertem Klärschlamm, gilt.

Neben den Gesamtschadstoffgehalten wurden auch die **Schadstoffgehalte im Eluat** analysiert. Die Ergebnisse können Tabelle 9.4 entnommen werden.

Auch die Eluatgrenzwerte können von dem fertig gerotteten Material problemlos eingehalten werden. Kritisch zu bewerten sind die Analysenwerte des Abdampfrückstandes, die mit 97.000 mg/kg TS bei der Fraktion 12-24 mm von Charge 12 sehr nahe an den Grenzwert herankommen. Die Eingangswerte der Chargen 2, 9 und 12 von im Mittel 257.000 mg/kg TS können aber auf durchschnittlich 76.000 mg/kg TS verringert werden, was einer Verminderung um über 70 % entspricht. Auch Sulfat ist in bedeutenden Mengen im Rotteendprodukt vorhanden, hier wird mit 16.130 mg/kg TS der Grenzwert zu fast 65 % ausgeschöpft. Dagegen finden sich die übrigen Komponenten nur in unbedeutenden Mengen, Chrom (VI) und Cyanid (leicht freisetzbar) liegen sogar in allen untersuchten Proben unter der analytisch bedingten Bestimmungsgrenze von 0,02 bzw. 0,05 mg/kg TS.

Tabelle 9.3: Schadstoffgesamtgehalte der Rottechargen 2, 9 und 12 zu Beginn der Rotte und nach 22 Wochen Rottezeit

Parameter		Grenzwert ¹⁾	Charge 2 Input	Charge 2 nach 22 Wochen Rotte 0 -12 mm	Charge 2 nach 22 Wochen Rotte 12-24 mm	Charge 9 Input	Charge 9 nach 22 Wochen Rotte 0-12 mm	Charge 9 nach 22 Wochen Rotte 2-24mm	Charge 12 Input	Charge 12 nach 22 Wochen Rotte 0-12 mm	Charge 12 nach 22 Wochen Rotte 12-24mm
Anorganische Stoffe											
Arsen (als As)	[mg/kg TS]	500	3,7	7,8	5,6	1,7	11,0	2,9	1,3	9,0	12,1
Barium (als Ba)	[mg/kg TS]	10.000	1.300	753	785	1.337	887	769	1.483	756	653
Blei (als Pb)	[mg/kg TS]	3.000	154	208	202	221	509	586	177	233	184
Cadmium (als Cd)	[mg/kg TS]	30	2,1	2,7	1,5	2,3	1,4	1,3	2,6	2,3	1,8
Chrom gesamt (als Cr)	[mg/kg TS]	5.000	241	843	964	252	568	435	292	266	238
Cobalt (als Co)	[mg/kg TS]	500	4,5	22,2	21,1	13,6	27,3	24,4	16,3	22,4	14,1
Kupfer (als Cu)	[mg/kg TS]	5.000	380	290	243	282	213	308	448	237	273
Nickel (als Ni)	[mg/kg TS]	2.000	285	430	448	228	259	303	188	148	184
Quecksilber (als Hg)	[mg/kg TS]	20	3,2	7,3	6,7	0,9	3,1	8,0	1,1	2,2	2,7
Silber (als Ag)	[mg/kg TS]	50	5,0	1,2	3,1	3,4	2,7	7,0	4,3	1,3	4,9
Zink (als Zn)	[mg/kg TS]	5.000	870	2.861	1.274	678	1.304	791	769	1.038	895
organische Summenparameter											
Ges. org.geb. Kohlenstoff, TOC (als C)	[mg/kg TS]	50.000	335.400	168.900	172.800	388.100	184.200	264.700	349.200	249.200	248.300
oberer Heizwert	[kJ/kg TS]	6.000	13.200	5.900	7.700	11.400	5.100	7.500	14.000	9.000	10.300
Ausblasbare org. geb. Halogene POX (als Cl)	[mg/kg TS]	1.000	0,004	0,008	0,005	0,015	0,004	<0,001	0,056	0,005	0,004
Summe der Kohlenwasserstoffe	[mg/kg TS]	20.000	7.530	1.810	1.260	6.670	2.520	1.460	6.070	3.470	1.630
Summe der polyzyklischen aromat. Kohlenwasserstoffe (PAK)	[mg/kg TS]	100	1,7	44,3	4,2	2,7	2,7	4,3	9,4	4,4	6,8

¹⁾ Grenzwerte für Schadstoffgesamtgehalte für Massenabfalldeponien gemäß Deponieverordnung, Anlage 1, Tabelle 7

Tabelle 9.4: Schadstoffgehalte im Eluat der Rottechargen 2, 9 und 12 zu Beginn der Rotte und nach 22 Wochen Rottezeit

Parameter		Grenzwert ¹⁾	Charge 2 Input	Charge 2 nach 22 Wochen Rotte 0-12 mm	Charge 2 nach 22 Wochen Rotte 12-24 mm	Charge 9 Input	Charge 9 nach 22 Wochen Rotte 0-12 mm	Charge 9 nach 22 Wochen Rotte 12-24mm	Charge 12 Input	Charge 12 nach 22 Wochen Rotte 0-12 mm	Charge 12 nach 22 Wochen Rotte 12-24mm
Lösliche Anteile und pH-Wert											
pH-Wert		6 bis 13	7,57	7,05	7,23	7,09	7,27	7,27	6,75	7,25	7,22
Abdampfückstand	[mg/kg TS]	100.000	223.000	54.000	83.000	235.000	59.000	70.000	314.000	91.000	97.000
Anorganische Stoffe											
Chrom sechswertig (als Cr)	[mg/kg TS]	20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ammonium (als N)	[mg/kg TS]	10.000	995	87	118	612	112	110	856	213	288
Cyanid, leicht freisetzbar, (als CN)	[mg/kg TS]	20	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05
Fluorid (als F)	[mg/kg TS]	500	<0,5	4,2	4,7	<0,5	3,7	4,3	<0,5	2,4	4,1
Nitrit (als N)	[mg/kg TS]	1.000	0,08	<0,5	<0,5	0,05	13,3	12,2	0,05	12,5	19,9
Sulfat (als SO ₄)	[mg/kg TS]	25.000	13.160	12.130	11.580	14.340	16.130	13.910	11.990	11.040	10.830
organische Summenparameter											
EOX (als Cl)	[mg/kg TS]	30	0,47	0,87	1,03	3,04	0,93	0,52	6,16	1,06	1,11

¹⁾ Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Eluat für Massenabfalldeponien gemäß Deponieverordnung, Anlage 1, Tabelle 8

9.2.1.5 Biologische Stabilität (AT₄)

Wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert, ist der in Österreich neu eingeführte Parameter H₀ genauso wie der Glühverlust oder der TOC nicht in der Lage, die biologische Stabilität von mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen direkt zu charakterisieren. Deshalb wurden im Rahmen der Rotteversuche an der MBRA Allerheiligen Atmungsaktivitätsmessungen nach 4 Tagen (AT₄) für die abgesiebten Fraktionen des Rottegutes (Ausnahme: Trockenstabilisat) durchgeführt. Die Analyseergebnisse sind in Tabelle 9.5 zusammengestellt.

Die geringsten Atmungsaktivitäten wurden für die Chargen der Variante 2 mit durchschnittlich 2,3 mg O₂/g TS in der Fraktion 0-12 mm bzw. 1,5 mg O₂/g TS in der Fraktion 12-24 mm gemessen. Auch die Varianten 1 und 4 zeigen nur eine geringe biologische Aktivität im Rotteendprodukt mit durchschnittlich maximal 3,2 mg O₂/g TS. Dagegen werden bei Variante 3 in der Fraktion 0-12 mm für alle 4 Chargen die höchsten Meßwerte der Meßreihe registriert. Dies bedeutet, daß bei den Chargen ohne rottebegleitende Maßnahmen noch deutlich größere Anteile an biologisch abbaubaren Bestandteilen vorhanden sind als bei den vergleichbaren Chargen, die durch regelmäßige Bewässerung und Umsetzen im Rotteverlauf bearbeitet wurden.

Tabelle 9.5: Ergebnisse der Analysen zur Atmungsaktivität (AT₄) des Rotteendproduktes in Allerheiligen nach 22 Wochen Rotte

Versuchsansatz	Chargennummer	AT ₄ der Fraktion 0-12 mm in [mg O ₂ /g TS]	AT ₄ der Fraktion 12-24 mm in [mg O ₂ /g TS]
Variante 1	Charge 3 < 24	2,5	2,8
Variante 2	Charge 2 < 24	1,9	1,4
	Charge 6 < 24	2,6	1,6
Mittelwert Variante 2:		2,3	1,5
Variante 3	Charge 3	5,2	4,5
	Charge 10	6,5	5,0
	Charge 11	4,2	3,0
	Charge 12	4,4	2,3
Mittelwert Variante 3:		5,1	3,7
Variante 4	Charge 2	3,0	1,8
	Charge 6	2,8	2,4
	Charge 8	3,7	3,5
	Charge 9	2,8	2,5
	Charge 13	3,6	2,2
Mittelwert Variante 4:		3,2	2,5

Zur Bewertung der Ergebnisse ist allerdings zu sagen, daß alle Meßergebnisse im unteren Bereich angesiedelt sind. Der Richtwert, der derzeit in Deutschland diskutiert wird, liegt bei 5

mg O₂/g TS und wird von allen Proben (mit Ausnahme von Charge 3 und 10, jeweils Fraktion 0-12 mm) eingehalten. Das Rotteendprodukt ist von seiner biologischen Stabilität daher als sehr gut einzustufen, wobei die Stabilität mit der Intensität der rottebegleitenden Maßnahmen zunimmt.

9.2.2 Siebversuche

9.2.2.1 Großtechnische Absiebungen

Die in Kapitel 9.2.1 dargestellten Untersuchungsergebnisse verdeutlichen nochmals, daß die Einhaltung des H₀-Grenzwertes der Deponieverordnung die entscheidende Anforderung an das Rottegut der MBR ab dem Jahr 2004 sein wird. Zum einen ist hierfür der weitgehende Abbau der organischen Substanz erforderlich, was im Rahmen der durchgeführten Rotteversuche zumindest bei Variante 4 mit einem durchschnittlichen Abbaugrad von etwa 53 % realisiert werden konnte. Darüber hinaus ist es erforderlich, die heizwertreichen Bestandteile nach der Rotte weitgehend abzutrennen. Wie die Ergebnisse in Kapitel 9.2.1.3 zum oberen Heizwert der einzelnen Korngrößenfraktionen des Rottegrundes zeigen, ist dies im Rahmen der Versuche nicht gelungen. Auf diese Problematik wird im folgenden tiefer eingegangen.

Für die Abtrennung der thermisch verwertbaren Leichtfraktion können beispielsweise Windsichter, ballistische Separatoren oder Siebe eingesetzt werden. Im Rahmen der Rotteversuche wurde das vorhandene Trommelsieb der MBRA Allerheiligen eingesetzt, das über eine Doppellochung von 12 und 24 mm verfügt. Im vorderen Teil des Siebes wird die Feinfraktion des Siebgutes mit der Lochung von 12 mm abgetrennt. Die zweite Hälfte des Siebes ist schließlich mit einer 24-mm-Lochung ausgestattet, so daß eine Mittelfraktion von 12-24 mm abgeschieden werden kann. Das Siebgut wird in 3 baulich getrennten Abwurfschächte aufgefangen. Bei dem Trommelsieb handelt es sich um eine relativ einfache Ausführung, da es derzeit nur für die Absiebung des Bioabfallkompostes eingesetzt wird. Im Rahmen der durchgeführten Versuche sollte festgestellt werden, ob sich das Trommelsieb auch für die Absiebung des Rottegrundes aus der MBRA eignet.

Nach Beendigung der Rottezeit von insgesamt 22 Wochen wurden die analytisch begleiteten Versuchsmieten mit einem Radlader aufgenommen, auf der Brückenwaage verwogen und in dem Trommelsieb abgesiebt. Das abgesiebte Gut wurde, nach Körnung getrennt, erneut mit dem Radlader aufgenommen und verwogen. Die Ergebnisse der Verwiegung sind in den Tabellen 9.6 und 9.7 zusammengestellt.

In Tabelle 9.6 sind die Ergebnisse für die 10 Chargen der **Varianten 3 und 4** zusammengestellt. Faßt man beide Varianten zusammen, so fallen durchschnittlich rund 36 M-% des Rotteendproduktes als Siebüberlauf > 24 mm an. Der Massenanteil der

Mittelfraktion von 12-24 mm beträgt 42 % und die deponierbare Fraktion < 12 mm hat einen Anteil von durchschnittlich ca. 22 M-%. Legt man die spezifischen Mittelwerte der beiden Versuchsvarianten zugrunde, so ist bei Variante 4 der deponierbare Anteil mit ca. 28 M-% fast doppelt so hoch wie für Variante 3 mit 15 M-%. Das umgekehrte Bild ergibt sich für die Fraktion > 24 mm (Variante 4: 27 M-%; Variante 3: 45 M-%). Der durchschnittliche Masseanteil der Mittelfraktion liegt bei beiden Versuchsvarianten zwischen 40 und 45 %.

Tabelle 9.6: Ergebnisse der Verwiegung des Rotteendproduktes nach Absiebung bei 12 und 24 mm (Rottezeit 22 Wochen, Varianten 3 und 4)

Rotteversuche	Charge	Masse [kg]	Fraktion > 24 mm [%]	Fraktion 12-24 mm [%]	Fraktion 0-12 mm [%]
Variante 3	1 ¹⁾	8.120	12,1	61,0	26,9
Variante 3	3	9.040	35,0	47,8	17,3
Variante 3	10	8.080	31,7	46,9	21,4
Variante 3	11	10.480	72,0	22,2	5,8
Variante 3	12	13.020	76,5	18,6	4,9
Mittelwert Variante 3		9.680	45,5	39,3	15,2
Variante 4	2	9.360	28,3	50,8	20,9
Variante 4	6	13.220	22,8	46,1	31,1
Variante 4	8	8.260	21,8	42,3	35,9
Variante 4	9	10.100	32,1	43,3	24,6
Variante 4	13	11.460	32,1	40,8	27,1
Mittelwert Variante 4		10.480	27,4	44,7	27,9
Gesamtmittelwerte		10.110	36,4	42,0	21,6

1) Trockenstabilisat

Entscheidend für die Verteilung auf die einzelnen Siebfraktionen ist aber nicht die unterschiedliche Rotteführung sondern der Wassergehalt des Rottegutes bei der Absiebung. Während bei Charge 1 (Trockenstabilisat mit einem Wassergehalt von rund 14 %) die Fraktion > 24 mm lediglich einen Masseanteil von ca. 12 % aufweist, sind es bei den Chargen 11 und 12 (Wassergehalt ca. 45 %) jeweils über 70 %. Der mathematische Zusammenhang (mit einem Korrelationskoeffizient von 0,94) zwischen Masseanteil der Fraktion > 24 mm und Wassergehalt des Rottegutes ist in Abbildung 9.9 graphisch dargestellt. Wie zu erwarten, steigt der Masseanteil der Fraktion > 24 mm bei höheren Wassergehalten exponentiell an. Die heizwertreiche Fraktion wird mit großen Anteilen der Feinfraktion vermischt, was sich auch durch die geringen oberen Heizwerte von 10.300 bis 13.500 kJ/kg TS für die Fraktion > 24 mm der Chargen 11 und 12 belegen läßt.

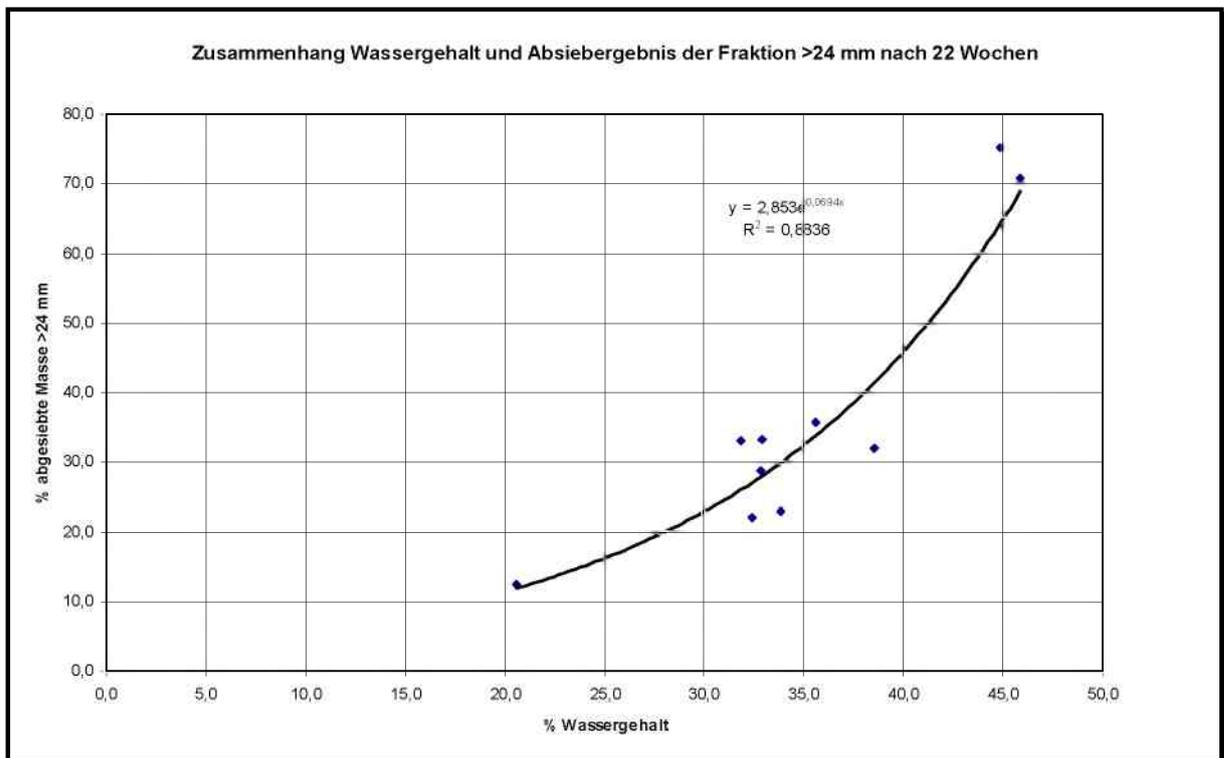


Abbildung 9.9: Masseanteil der Fraktion > 24 mm nach der Absiebung für die einzelnen Chargen von Varianten 3 und 4 in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Rottegutes

Durch das Siebergebnis von Charge 1 wird aber auch deutlich, daß der Siebschnitt von 24 mm für eine effektive Abtrennung der heizwertreichen Anteile zu weit gewählt ist. Auf Basis der Ergebnisse von Kapitel 8 müßten ca. 23 bis 27 % der Trockenmasse des Rottegutes als heizwertreiche Fraktion ($H_0 > 25.000$ kJ/kg TS) ausgeschleust werden, um den Grenzwert der Deponieverordnung einhalten zu können. Im Fall des Trocken-stabilisates (Charge 1) lassen sich aber lediglich 12 M-% abtrennen und der obere Heizwert von rund 15.000 kJ/kg TS verdeutlicht, daß auch hier noch größere Anteile heizwertarmer Materialien in der Fraktion > 24 mm zu finden sind.

Auch die bereits nach 6 Wochen abgesiebten Chargen der **Varianten 1 und 2** wurden nach der Absiebung nach 6 und 22 Wochen verwogen. Die Ergebnisse der Absiebungen sind in Tabelle 9.7 zusammengestellt. Im Vergleich zu den Varianten 3 und 4 hat die Absiebung bereits nach 6 Wochen den Nachteil, daß hier knapp die Hälfte der Gesamtmasse (47,3 %) samt anhaftender biologisch abbaubarer Anteile als thermische Fraktion ausgeschleust wird. Entsprechend geringer fallen die Masseanteile der Fraktionen 0-12 mm (34,3 %) und 12-24 mm (18,4 %) aus. Der höhere Anteil an heizwertreicher Fraktion > 24 mm kann zum einen auf den etwas höheren Wassergehalt bei der Absiebung nach 6 Wochen (Chargen 3 und 6) zurückgeführt werden. Zum anderen mußte aber eine schlechtere Eignung des Rottegutes

für die Absiebung nach 6 Wochen festgestellt werden. So wurden beispielsweise bei der Absiebung von Charge 2 nach 6 Wochen trotz eines (sehr) geringen Wassergehaltes von 24 % über 40 % der Masse als Siebüberlauf > 24 mm ermittelt. In Hinblick auf die Maximierung des deponiefähigen Anteils ist die Absiebung des Rottegutes nach 22 Wochen zu bevorzugen.

Tabelle 9.7: Ergebnisse der Verwiegung des Rottezwischen- und -endproduktes nach Absiebung bei 12 und 24 mm (Rottezeit 6 und 22 Wo., Varianten 1 und 2)

Charge	Masse [kg]	Fraktion > 24 mm [%]	Fraktion 12-24 mm [%]	Fraktion < 12 mm [%]
2 nach 6 Wochen	17.700	40,4	40,8	18,8
3 nach 6 Wochen	13.420	42,2	40,5	17,2
6 nach 6 Wochen	12.340	48,9	43,4	7,7
arithm. Mittelwert	14.490	43,8	41,6	14,6
2 < 24 nach 22 Wo.	9.100	0,9	61,1	37,9
3 < 24 nach 22 Wo.	7.660	19,4	48,2	32,4
6 < 24 nach 22 Wo.	5.080	0,5	72,1	27,4
arithm. Mittelwert	7.280	6,9	60,5	32,6
mittlere Gesamtaufteilung		47,3	34,3	18,4

Ein weiteres Problem ist die Wassergehaltseinstellung nach der Absiebung für das Rottegut < 24 mm, das gemäß Anlagenkonzeption einer weiteren biologischen Behandlung von 16 Wochen zu unterziehen ist. Während die oberflächliche Benetzung durch einfache händische Bewässerung sichergestellt werden kann, ist für die effektive Durchfeuchtung eine aufwendigere Bewässerungstechnik mit intensiver Mischung des Rottegutes erforderlich. Diese stand im Rahmen der Versuche nicht zur Verfügung.

Die Weiterbehandlung nach 6 Wochen wurde nur noch für das Material < 24 mm durchgeführt. Um so erstaunlicher ist es, daß die Charge 3 nach 22 Wochen Rotte über 19 M-% der Fraktion > 24 mm aufweist. Der Wassergehalt der Charge 3 (< 24 mm) ist bei der Absiebung nach 22 Wochen Rotte mit knapp 34 % nur um 2-3 % höher als der Wassergehalt der Chargen 2 und 6 (< 24 mm), trotzdem führt dieser geringe Unterschied bereits zu einer deutlichen Agglomeration des Rottegutes und damit zu einem Austrag der Feinfraktion als Siebüberlauf. Ein weiterer Aspekt ist das fehlende Umsetzen der Charge 3. Hier kann es ebenfalls zu Agglomerationen kommen, die im Trommelsieb nicht aufgebrochen werden.

Für den sinnvollen Einsatz der vorhandenen Siebanlage ist ein Wassergehalt des Rottegutes < 30 % erforderlich, der nur realisiert werden kann, wenn mindestens eine Woche der Extensivrotte zur biologischen Trocknung genutzt wird. Dies bedeutet aber auch, daß bei

den Varianten 1 und 2 nur 5 Wochen effektive Rottezeit für das Gesamtmaterial < 80 mm zur Verfügung steht und ein entsprechend geringe biologische Abbauraten zu erwarten sind.

Aufgrund der beschriebenen Nachteile der Absiebung nach 6 Wochen Rotte (Varianten 1 und 2) sollte die Abtrennung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien erst am Ende der Rotte (z.B. nach 22 Wochen; Varianten 3 und 4) durchgeführt werden. Die an der MBRA Allerheiligen vorhandene (einfache) Siebanlage ist hierfür nur bedingt geeignet und sollte bis zum Jahr 2004 durch eine leistungsfähige mechanische Aufbereitungsstufe ersetzt werden. Schon jetzt kann festgestellt werden, daß sich ein Trommelsieb nur dann für die Abtrennung der heizwertreichen Leichtfraktion eignet, wenn ein wesentlich kleinerer Siebschnitt als 24 mm verwendet wird. Für den Wassergehalt bei der Absiebung muß ein sinnvoller Kompromiß gefunden werden, da bei WG < 30 % bereits eine erhebliche Staubentwicklung (bei der Siebung und Deponierung) festzustellen ist und bei WG > 35 % auch leistungsfähige Trommelsiebe, insbesondere bei Siebschnitten < 15 mm, verkleben können.

9.2.2.2 Laborsiebungen

Die reale Korngrößenverteilung und darauf aufbauend die Korngrößenabhängigkeit des oberen Heizwertes für das Rottegut nach 22 Wochen kann nur mittels Siebanalysen ermittelt werden. Diese wurden im Labor des IED durchgeführt und die Ergebnisse werden im folgenden diskutiert.

Der Input der großtechnischen Absiebung ist für die **Varianten 3 und 4** die Fraktion 0-80 mm. Die Fraktionen, die in Allerheiligen nach der Siebung mit dem vorhandenen Trommelsieb anfallen, haben eine Körnung von 0-12 mm, 12-24 mm und 24-80 mm. Insgesamt wurden 41 Proben mit einer durchschnittlichen Feuchtmasse von jeweils > 6,5 kg, spätestens einen Tag nach der jeweiligen Probenahme mittels Laborsiebgerät (Plan-Siebmaschine KS 1000), abgesiebt. Die Einzelergebnisse für die 4 Korngrößen-fraktionen, die bei der großtechnischen Absiebung in Allerheiligen angefallen sind, können den Abbildungen 1 bis 4 im Anhang I entnommen werden. Die fraktionsspezifischen Mittelwerte sind in Abbildung 9.10 dargestellt.

Die Siebfraction < 12 mm besteht zu fast 90 M-% aus Korngrößen < 5 mm und in der Fraktion von 12-24 mm sind 90 % der Masse < 12 mm. Aber auch die Fraktion 24-80 mm besteht zu etwa 50 M-% aus Material < 17 mm und 70 M-% sind kleiner als 24 mm. Der Input der Siebung, die Fraktion 0-80 mm, besteht zu fast 60 Massenprozent aus Korngrößen < 6,3 mm, 80 M-% sind < 16 mm und 90 M-% haben Korngrößen < 23 mm.

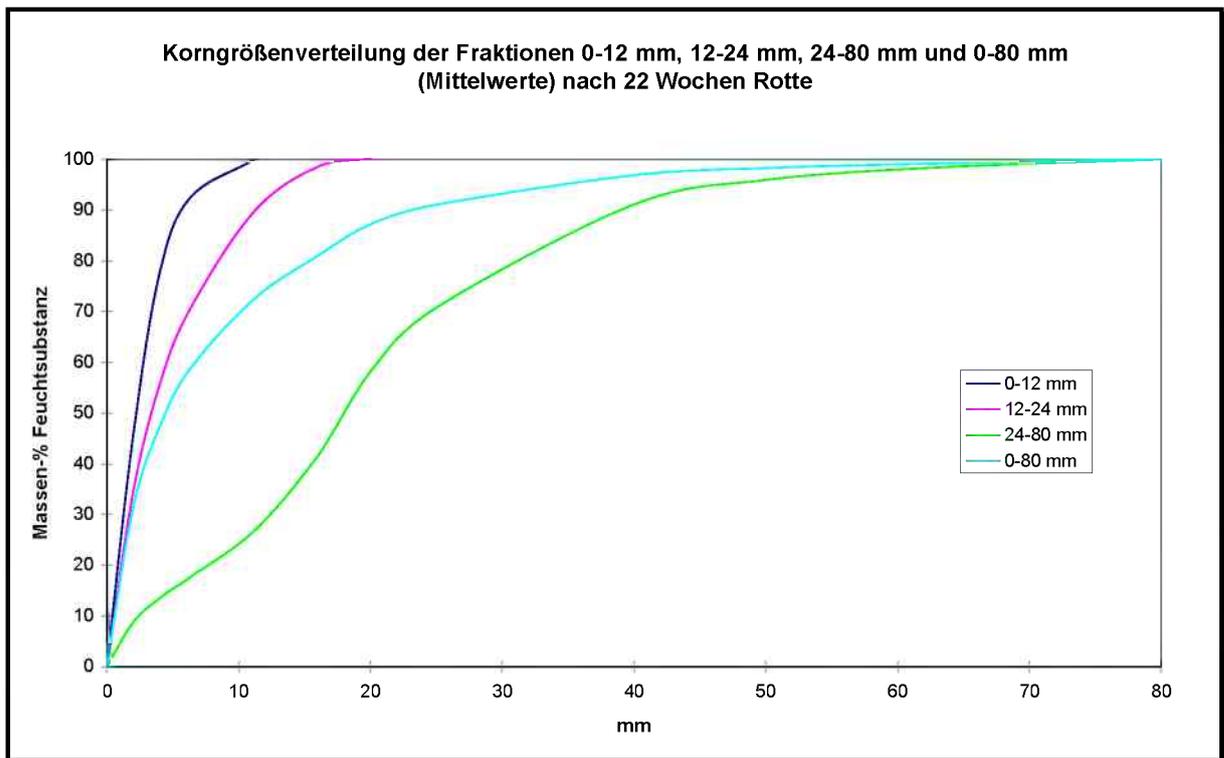


Abbildung 9.10: Korngrößenverteilung der Fraktionen 0-12 mm, 12-24 mm, 24-80 mm und 0-80 mm (Mittelwerte) nach 22 Wochen Rotte

Wie bereits in Kapitel 8 erläutert müssen ca. 23 bis 27 % der Trockenmasse des Rottegutes als heizwertreiche Leichtfraktion mit einem oberen Heizwert > 25.000 kJ/kg TS abgetrennt werden, um ein deponiefähiges Material zu erhalten. Geht man in erster Näherung davon aus, daß der Wassergehalt von Ausgangsmaterial und Siebfractionen in etwa gleich sind, so müßte die Abtrennung der Leichtfraktion mittels leistungsfähiger Siebanlage bei einem Siebschnitt von ca. 12 bis 16 mm durchgeführt werden, um die Fraktion < 10 mm weitgehend abzutrennen. In diesem Fall stellt sich aber die Frage, ob der Siebdurchgang wirklich den H_o -Grenzwert der Deponieverordnung einhalten kann.

Hierzu wurden weitere Untersuchungen zur Ermittlung der Korngrößenabhängigkeit des oberen Heizwertes für das Rottegut der leistungsfähigsten **Variante 4** durchgeführt. Der obere Heizwert der Chargen 2 und 6 liegt für die Siebfraction < 12 mm der großtechnischen Absiebung zwischen 4.800 und 4.900 kJ/kg TS, während für die Fraktion von 12-24 mm ein H_o von rund 7.000 kJ/kg TS ermittelt wurde (siehe auch Kapitel 9.2.1.3). Um den deponierbaren Anteil der Fraktion von 12-24 mm zu bestimmen, wurden auf Basis der Korngrößenanalysen weitere Heizwertuntersuchungen durchgeführt. In unserem Labor wurden die feuchten Proben aus der Absiebung vor Ort mit einem Laborsiebgerät (Plan-Siebmaschine KS 1000) nachgesiebt. Die dabei verwendeten Siebschnitte waren 0-2 mm, 2-4 mm, 4-6,3 mm, 6,3-11,2 mm, 11,2-16 mm, und 16-24 mm. Die Verteilung der Korngrößen in der Fraktion 12-24 mm ist für die Chargen 2 und 6 in Abbildung 9.11 dargestellt. Zusätzlich zu den Massen wurden für die einzelnen Siebfractionen auch deren oberen Heizwerte

bestimmt.

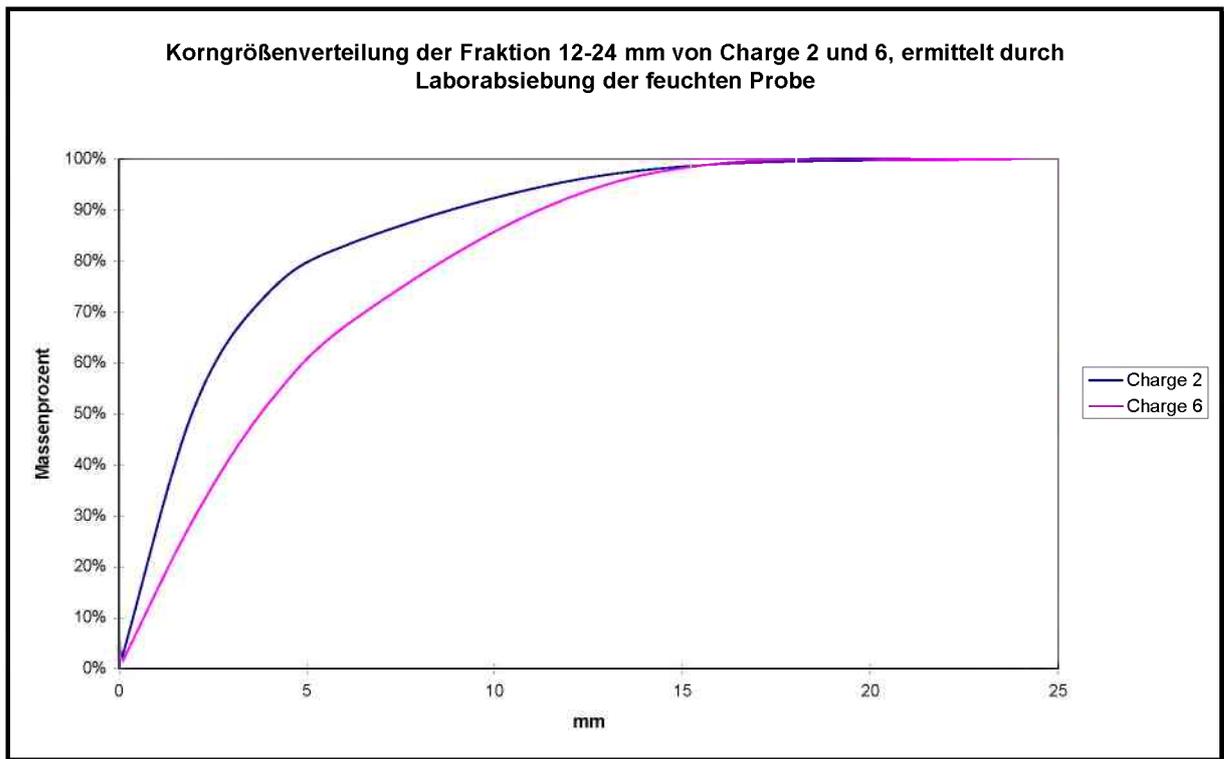


Abbildung 9.11: Korngrößenverteilung der Fraktion 12-24 mm für Chargen 2 und 6 der Variante 4 nach 22 Wochen Rotte

Für die Fraktion 12-24 mm der Chargen 2 und 6 sind die Ergebnisse der Absiebung und der oberen Heizwertbestimmung in Tabelle 9.8 zusammengefasst. Der obere Heizwert der gesamten Fraktion 12-24 mm der jeweiligen Charge errechnet sich als Summe der einzelnen Heizwertanteile. Die obere Heizwertbestimmung der Einzelfractionen ergibt mit Hilfe des Gewichtsanteils für Charge 2 einen berechneten oberen Heizwert von etwa 5.900 kJ/kg TS, der durch die Einzelfractionierung und den höheren Analysenaufwand genauer sein dürfte als der zuvor bestimmte obere Heizwert von 7.000 kJ/kg TS. Für Charge 6 ergibt sich ein H_o von ca. 6.500 kJ/kg TS im Vergleich zu 7.100 kJ/kg TS, die für die nicht fraktionierte Probe ermittelt wurde.

Tabelle 9.8: Ergebnisse der Laborabsiebung und H_o -Bestimmung für die Fraktion 12-24 mm der Chargen 2 und 6 (Variante 4)

Fraktion [mm]	Charge 2			Charge 6		
	Feuchtsubstanz [%]	H_o [kJ/kg TS]	H_o -Fracht [kJ/kg TS]	Feuchtsubstanz [%]	H_o [kJ/kg TS]	H_o -Fracht [kJ/kg TS]
16-24	1	14.500	145	0,9	12.000	103
11-16	4,5	9.300	419	9,1	10.100	918
6-11	10,7	8.400	899	21,4	7.800	1.666

4-6	9,9	6.300	624	16,5	7.000	1.155
2-4	22,8	5.100	1.163	22,6	4.800	1.086
0-2	51,1	5.200	2.657	29,6	5.300	1.567
Summe	100		5.906	100		6.495

Für Chargen 2 und 6 kann aufgrund dieser Ergebnisse festgehalten werden, daß die Summe der Fraktionen 0-12 mm und 12-24 mm unterhalb des Grenzwertes von 6.000 kJ/kg TS liegen. Der deponierbare Anteil des Rottegutes liegt demnach für diese beiden Versuchsansätze bei 71,7 bis 77,2 M-% und damit in der, auf Basis der theoretischen Überlegungen in Kapitel 8 prognostizierten Größenordnung. Auf der anderen Seite dokumentieren auch diese Ergebnisse mit welchen Unsicherheiten die Heizwertanalytik behaftet ist, auch wenn die Probenaufbereitung wie bei den gegenständlichen Untersuchungen sehr aufwendig gestaltet wird.

9.2.3 Massenbilanz

Die Ergebnisse der durchgeführten Rotteversuche an der MBRA zeigen eindeutig, daß die **Variante 4** (22 wöchige Rotte des Restmülls < 80 mm mit Klärschlamm und anschließende Abtrennung heizwertreicher Materialien) die leistungsfähigste Betriebsführung im Hinblick auf die Maximierung des Rotteverlustes und der deponierbaren Menge darstellt (siehe auch Kapitel 9.2.1 und 9.2.2). Aufbauend auf diesen Versuchsergebnissen soll hier eine Gesamtmassenbilanz für die MBRA Allerheiligen erstellt werden. Da keine Verwiegung von Rotteinput und Rotteoutput während der Rotteversuche durchgeführt werden konnte, kann diese Bilanz kein exaktes Bild der realen Massenströme für die Betriebsweise gemäß Variante 4 vermitteln. Trotzdem stellt die in Abbildung 9.12 dargestellt Massenbilanz eine brauchbare Orientierungshilfe dar, die durch weitere, derzeit laufende Untersuchungen abgesichert werden soll.

Für den Anlageninput werden die spezifischen Daten für das Jahr 1996 verwendet, die im Rahmen der eigenen Untersuchungen für den Restmüll (Kapitel 6) und Klärschlamm (Kapitel 7) ermittelt wurden und in Kapitel 8, Tabelle 8.1 zusammengestellt sind. Insgesamt wurden 14.890 Mg, davon 10.478 Mg Restmüll (70 M-%) mit einem Wassergehalt von 33 % und 4.412 Mg Klärschlamm (30 M-%) mit einem Wassergehalt von 71 % behandelt. Nach Angaben der Betriebsleitung wurden 1996 ca. 12 % des Gesamtinputs in der mechanischen Aufbereitung als thermische Fraktion (Siebüberlauf) ausgeschleust, für die hier ein durchschnittlicher Wassergehalt von 20 % angesetzt wird. Außerdem wurden 1,3 M-% als Fe-Metalle abgetrennt und einer Verwertung zugeführt.

Abbildung 9.12: Massenbilanz für die MBRA Allerheiligen bei einer Rottedauer von 22 Wochen gemäß Variante 4 (alle Angaben in M-%)

Der Input der biologischen Behandlung beträgt fast 87 M-% des Anlageninput bzw. 12.910 Mg/a, dessen mittlerer Wassergehalt bei ca. 48 % liegt. Weiterhin kann man auf Basis der Versuchsergebnisse zu Variante 4 davon ausgehen, daß während der 22-wöchigen Rotte mindestens 25 % der Trockenmasse biologisch abgebaut werden. Insgesamt fallen ca. 46 M-% des Anlageninputs (bzw. 53 M-% des Inputs der Biologie) als Rottegut an. Nach den großtechnischen Absiebergergebnissen besteht das Rottegut bezogen auf den Anlageninput zu fast 13 M-% aus der Fraktion < 12 mm, rund 20 M-% fallen als Fraktion 12-24 mm an und die Fraktion > 24 mm hat einen Masseanteil von ca. 12 %. Der Wasser- und Rotteverlust beträgt insgesamt über 40 % (14% Rotte- und 26 % Wasserverlust) bezogen auf den Gesamtinput der MBRA Allerheiligen, was bezogen auf den Input der Biologie fast 47 % entspricht.

Legt man die Ergebnisse der großtechnischen Absiebversuche des Rottegutes der Variante 4 zugrunde, so weist nur die Fraktion < 12 mm einen oberen Heizwert unter 6.000 kJ/kg TS und der Masseanteil bezogen auf den Gesamtinput der MBRA beträgt lediglich 12,9 %. Demnach müßten die Fraktionen > 80 mm (12 M-%), 24-80 mm (12,6 M-%) und 12-24 mm (20,6 M-%) einer thermischen Nachbehandlung unterzogen werden. Wie die Ergebnisse der Nachsiebungen des Rottegutes im Labor des IED gezeigt haben, ist der deponierbare Anteil bei einzelnen Versuchsansätzen der Variante 4 mit teilweise über 70 M-% des Rottegutes wesentlich höher. Deshalb wird im folgenden Abschnitt auf die wesentlichen Möglichkeiten zur Verbesserung des Anlagenbetriebes eingegangen und abschließend eine abschließend eine Massenbilanz für die MBRA Allerheiligen im Jahr 2004 prognostiziert.

9.3 Bewertung der Ergebnisse und Ansätze zur Optimierung

Bei der Interpretation der Versuchsergebnisse sind die spezifischen Rahmenbedingungen der MBRA Allerheiligen zu berücksichtigen, die hier vorab kurz aufgeführt werden:

- Die Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen wurden mit Restmüll und Klärschlamm durchgeführt, die zwischen Anfang November bis Anfang Dezember 1996 angeliefert wurden. Der Winterrestmüll ist durch einen relativ hohen Feinanteil von über 33 M-% (Jahresmittelwert 27 M-%) gekennzeichnet. Der Anteil der gut biologisch abbaubaren Fraktionen beträgt rund 32 M-% (Jahresmittelwert 34,6 M-%) und die nur teilweise biologisch abbaubaren Fraktionen (ohne Feinfraktion) sind mit 12,8 M-% (Jahresmittelwert 12,5 M-%) vertreten. Der obere Heizwert des im Winter eingesetzten entwässerten Klärschlamm lag bei 16.800 kJ/kg TS (Jahresmittel 15.200 kJ/kg TS). Der Input der biologischen Behandlung, bestehend aus Restmüll < 80 mm und entwässertem Klärschlamm wies bei den Versuchen einen mittleren oberen Heizwert von 13.200 kJ/kg TS auf, während hier im Jahresdurchschnitt etwa 11.500 kJ/kg TS zu erwarten sind.
- Die MBRA Allerheiligen hat erst im Frühjahr 1996 den Probetrieb erfolgreich abgeschlossen und den Regelbetrieb aufgenommen. Deshalb ist es nicht weiter verwunderlich, daß im Verlauf des 1. Betriebsjahres eine Reihe von Betriebsstörungen aufgetreten sind, von denen auch die durchgeführten Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der Anlage betroffen waren. So konnte beispielsweise die Zwangsbelüftung der Rotteplatte (Bereich der Extensivrotte) nicht durchgehend sichergestellt werden und es traten teilweise Probleme bei der Bewässerung der Intensivrottetunnel aufgrund verstopfter Düsen auf. Darüber hinaus wurde Sommer 1996 ein neuer Betriebsleiter ernannt, der einige Monate brauchte, um sich insbesondere mit

den komplexen Möglichkeiten der Rottesteuerung der BAS-Intensivrottetunnel vertraut zu machen.

Vor diesem Hintergrund ist klar, daß hier noch keine abschließenden Aussagen darüber getroffen werden können, welche Massenanteile des Anlagenoutputs im Jahr 2004 deponierbar sind. Zum einen wird sich bis dahin der obere Heizwert im Klärschlamm durch die Installation von Faultürmen auf den Kläranlagen des Mürzverbandes noch wesentlich vermindern und im Jahr 2004 bei optimierter Betriebsweise im Bereich von 10.000 kJ/kg TS liegen und zum anderen gibt es noch erhebliche Optimierungspotentiale für den Betrieb der MBRA Allerheiligen. Die Zusammensetzung des kommunalen Restmülls im Mürzverband wird sich in den kommenden Jahren voraussichtlich nur unwesentlich ändern.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse lassen sich aber bereits fundierte Aussagen über den derzeitigen Anlagenbetrieb der MBRA Allerheiligen treffen. Dabei wird davon ausgegangen, daß die MBRA künftig gemäß Variante 4 betrieben wird, da bei diesen Versuchsansätzen die besten Ergebnisse erzielt wurden. Im folgenden wird eine zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse vor dem Hintergrund der Deponieverordnung vorgenommen und die Möglichkeiten für eine Optimierung der Betriebsweise werden diskutiert.

Die Gesamtschadstoffgehalte gemäß Anlage 1, Tabelle 7 der Deponieverordnung werden von den mechanisch-biologisch vorbehandelten Restmüll/Klärschlammgemisch < 24 mm nach 22 Wochen problemlos eingehalten. Kritisch anzumerken ist, daß auch beim Anlageninput keinerlei Grenzwertüberschreitungen feststellbar waren. Dies gilt sowohl für den unbehandelten Restmüll als auch für die entwässerten Klärschlämme der 4 Kläranlagen des Mürzverbandes.

Auch die Grenzwerte gemäß Anlage 1, Tabelle 8 der Deponieverordnung für den Schadstoffgehalt im Eluat werden von dem Rottegut < 24 mm nach 22 Wochen in allen Fällen eingehalten. Allerdings ist auch anzumerken, daß die Schadstoffgehalte im Eluat des unbehandelten Restmülls mit Ausnahme des Abdampfrückstandes weit unterhalb der Grenzwerte liegen. Der Abdampfrückstand im unbehandelten Restmüll liegt zwischen 223 und 314 g/kg TS, was einer Grenzwertüberschreitung von 123 bzw. 214 % entspricht.

Nach der für die Versuchsvariante 4 ermittelten Massenbilanz (Bezugsgröße Feuchtmasse des Anlageninput) fallen ca. 1,3 M-% verwertbare Fe-Metalle an und die in jedem Fall thermisch zu verwertenden bzw. zu behandelnden Fraktionen (Siebüberlauf > 80 mm vor der Rotte und Siebfraktion von 24 mm bis 80 mm nach der Rotte) haben einen Anteil von 24,6 M-%. Der geringe obere Heizwert von 15.300 kJ/kg TS für die Fraktion 24-80 mm läßt aber darauf schließen, daß hier zum größere Mengen heizwertarmer Materialien miterfaßt werden und zum anderen erhebliche Mengen heizwertreicher Anteile in den Fraktionen < 24 mm verbleiben. Der Rotte- und Wasserverlust liegt mit 40,6 M-% (47 M-% bezogen auf den Input

der Biologie) in der zu erwartenden Größenordnung aber auch hier Verbesserungen möglich.

Problematisch ist hingegen die Einhaltung des Grenzwertes für den oberen Heizwert von 6.000 kJ/kg TS. Auf Basis der Ergebnisse, die bei der Absiebung des Rottegutes mit dem in Allerheiligen vorhandenen und nur bedingt geeigneten Trommelsieb ermittelt wurden, hält lediglich die Fraktion < 12 mm den Grenzwert ein, was einem Anteil von nur knapp 13 M-% des Gesamtinputs bzw. 28 M-% des Rottegutes entspricht. Die Fraktion 12-24 mm des Rottegutes hat einen Anteil von über 20 M-% des Anlageninputs (fast 45 M-% des Rottegutes) und der H_o -Grenzwert wurde mit einer Ausnahme bei allen Versuchsansätzen überschritten. Die Ergebnisse der Nachsiebungen des Rottegutes im Labor des IED belegen, daß bei effektiver Abtrennung der heizwertreichen Anteile durchaus mehr als 70 % des Rottegutes (rund 32 M-% bezogen auf den Anlageninput) einen oberen Heizwert < 6.000 kJ/kg TS aufweisen und deponiert werden können.

Ziel der MBRA Allerheiligen ist es, spätestens zum 1.1.2004 einen Regelbetrieb zu gewährleisten, bei dem der Großteil des Rottegutes deponierbar ist. Deshalb werden im folgenden kurz die wesentlichen Gründe dafür angeführt, daß dies im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen noch nicht gelungen ist. Damit ergeben sich gleichzeitig Ansätze für eine Optimierung des Anlagenbetriebes:

- **Sehr hohe obere Heizwerte des Klärschlammes**

Im Rahmen der Untersuchungen wurde entwässerter kommunaler Klärschlamm eingesetzt, der einen durchschnittlichen oberen Heizwert von 16.800 kJ/kg TS hatte. Bis zum Jahr 2004 werden die 4 Abwasserreinigungsanlagen des Mürzverbandes mit Faultürmen zur anaeroben Stabilisierung des Klärschlammes ausgerüstet sein und der durchschnittliche H_o bei optimierter Betriebsweise auf etwa 10.000 kJ/kg TS erheblich sinken. Aufgrund der kleinen Korngrößen des Klärschlammes findet sich der größte Teil nach der biologischen Behandlung und effektiven Absiebung des Rottegutes in der zu deponierenden Feinfraktion wieder. Im Rahmen der durchgeführten Versuche kam es immer wieder zur Verklumpung von Klärschlamm und ein weitgehender Abbau der organischen Substanz ist in diesen Fällen, aufgrund der unzureichenden Sauerstoffversorgung, nicht möglich. Deshalb ist davon auszugehen, daß der Klärschlamm derzeit einen erheblichen Anteil an den relativ hohen Heizwerten in der Fraktion < 24 mm hat.

- **Einstellung optimaler Milieubedingungen durch rottebegleitende Maßnahmen**

Der Wassergehalt des Materials lag bei den durchgeführten Versuchen schon zu Beginn der Rotte in den meisten Fällen unterhalb von 50 % und nahm insbesondere auf der belüfteten Nachrotteplatte teilweise stark bis auf Werte um 40 bis 35 % ab. In diesen Fällen ist die mikrobielle Aktivität stark eingeschränkt und die Abbauraten insbesondere im Rahmen der Fertigrotte entsprechend gering. So lag der Abbaugrad der organischen Substanz, gemessen als Verringerung des Glühverlustes nach 22 Wochen Rotte im schlechtesten Fall

unter 30 %. Für die Versuchsansätze bei denen der Wassergehalt während der gesamten Rotte als annähernd optimal bezeichnet werden kann, wurden hingegen Abbauraten über 60 % ermittelt.

Um einen möglichst weitgehenden Abbau der organischen Substanz zu erreichen sollte der Wassergehalt des Materials im Rottetunnel zwischen 50 und 55 % betragen und die Extensivrotte auf der belüfteten Rotteplatte durchgehend bei Wassergehalten oberhalb von 45 % durchgeführt werden. Im Rahmen der 16-wöchigen Nachreife ist zum einen zu gewährleisten, daß in den ersten ca. 10 Wochen ein mikrobieller Abbau der organischen Substanz bei Wassergehalten von ca. 45 bis 40 % stattfinden kann und zum anderen sollte das Rottegut am Ende der Fertigrötte einen Wassergehalt unter 35 % aufweisen, um eine effektive Absiebung des heizwertreichen Materials zu ermöglichen.

Das Kohlenstoff/Stickstoffverhältnis wird durch die Zugabe von Klärschlamm günstig beeinflusst. Die mikrobielle Wirkung in Form eines weitgehenden und schnellen Abbaus der organischen Substanz ergibt sich aber nur dann, wenn Restmüll und Klärschlamm möglichst gut vermischt werden. Dies konnte durch den Mischzerkleinerer nicht immer gewährleistet werden, so daß einzelne Klärschlammklumpen die biologische Behandlung nahezu unbeschadet überstanden haben. Diese gelangen durch die Absiebung in die Fraktion < 24 mm und sind, aufgrund des hohen oberen Heizwertes des "unbehandelten" Klärschlammes, für die Grenzwertüberschreitungen mitverantwortlich.

Die ausreichende Sauerstoffversorgung kann auf der unbelüfteten Nachreifefläche nur durch regelmäßiges Umsetzen des Materials sichergestellt werden. In den Versuchen wurde das Material alle 14 Tage mittels Radlader umgesetzt. Hier wäre es aus unserer Sicht sinnvoll, diese Intervalle zu verkürzen und die Mieten wöchentlich umzusetzen. Darüber hinaus ist die mit dem Umsetzen verbundene Homogenisierung des Rottegutes vorteilhaft für den weiteren Rotteverlauf.

- **Absiebung des Rottegutes**

Die für eine effektive Absiebung der heizwertreichen Fraktion (auch bei leistungsfähigen Siebaggagaten) erforderlichen Wassergehalte des Rottegutes unter 35 %, konnten im Rahmen der Versuche in vielen Fällen nicht erreicht werden. Der Wassergehalt des abzusiebenden Materials lag zwischen 28 und 48 %, was zu unbefriedigenden Absiebungsergebnissen führte. Dies kann beispielsweise durch die relativ geringen oberen Heizwerte des Siebüberlaufs (24-80 mm) von durchschnittlich 15.300 kJ/kg TS belegt werden.

Um die reale Korngrößenverteilung des Rottegutes abschätzen zu können, wurden umfangreiche Nachsiebungen im umweltanalytischen Labor des IED durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, daß der deponierbare Anteil des Rottegutes über 70 M-% ausmacht.

Bei den weiteren Untersuchungen sollte deshalb die Optimierung der Abtrennung der heizwertreichen Fraktion im Vordergrund stehen. Es ist naheliegend, daß das Absiebergewinn um so besser wird je trockener das Material ist. Allerdings besteht das Problem, daß es teilweise bereits bei Wassergehalten zwischen 30 und 35 % zu einer starken Staubentwicklung kommt. Deshalb ist schon aus Arbeitsschutzgründen eine geschlossene Ausführung der Siebanlage zu empfehlen. Bei den Überlegungen sollten neben der Absiebung auch andere mechanische Aufbereitungsschritte wie beispielsweise die Windsichtung des Materials geprüft werden.

- **Biologische Stabilität des Deponiematerials**

Da der obere Heizwert für die direkte Beurteilung der biologischen Stabilität des mechanisch-biologisch vorbehandelten Materials auf der Deponie genauso ungeeignet ist wie die Parameter Glühverlust oder der TOC wird es künftig, nach heutigem Diskussionsstand, zumindest einen weiteren Grenzwert in der Deponieverordnung geben, der diese Lücke ausfüllen soll. Ein geeigneter Parameter für die biologische Stabilität des Rottegutes ist die Atmungsaktivität innerhalb von 4 Tagen (AT_4) und in Deutschland bzw. Österreich wird ein Richtwert von 5 mg O_2/g TS diskutiert. Obwohl die biologische Behandlung in der MBRA Allerheiligen noch erhebliche Optimierungspotentiale aufweist, kann dieser AT_4 -Richtwert für die Fraktion < 24 mm bereits heute sicher eingehalten werden.

Abschließend kann hier zur aktuellen Heizwertproblematik festgehalten werden, daß der Grenzwert für den oberen Heizwert von 6.000 kJ/kg TS im Jahr 2004 für mindestens 70 M-% des Rottegutes eingehalten werden kann, wenn die MBRA Allerheiligen mit kommunalen Restmüll und ausgefaulten sowie entwässerten kommunalen Klärschlamm betrieben wird und der Betrieb der biologischen Behandlung sowie die Abtrennung der heizwertreichen Fraktion optimiert wird. Bezogen auf den Feuchtmasseneintrag bedeutet dies, daß zumindest rund 32 M-% deponiert werden können. Die prognostizierte Massenbilanz für die MBRA Allerheiligen für das Jahr 2004 ist in Abbildung 9.13 graphisch dargestellt.

Abbildung 9.13: Massenbilanz für den optimierten Betrieb der MBRA Allerheiligen im Jahr 2004 bei 22-wöchiger Rotte gemäß Variante 4 (alle Angaben in M-%)

10 Korrelationen zwischen H_o und Glühverlust bzw. TOC

Seit dem 1.1.1997 wird der obere Heizwert (H_o) in Österreich (europaweit erstmals) als entscheidendes Kriterium für die Deponierbarkeit von Abfällen herangezogen. Auch sonst gibt es in Europa keine abfallwirtschaftlichen Regelungen in denen ein Grenzwert für den oberen Heizwert (der Trockensubstanz) festgelegt ist, so daß die Datengrundlage in der Fachliteratur äußerst bescheiden ist. Angaben findet man i.d.R. lediglich zum unteren Heizwert (H_u), der für die Auslegung und den Betrieb von thermischen Abfallbehandlungsanlagen eine wesentliche Kenngröße darstellt. Allerdings ist hier die Feuchtmasse die Bezugsgröße und der Wassergehalt ist in den meisten Fällen nicht angegeben, so daß für den H_o auch keine Näherungswerte berechnet werden können. Auch Konzentrationsangaben anderer organischer Summenparameter wie Glühverlust und TOC fehlen häufig.

Aus diesem Grund war es ein weiteres Ziel der durchgeführten Untersuchungen zu klären, ob es belastbare Korrelationen zwischen dem oberen Heizwert und den klassischen Summenparametern Glühverlust und TOC gibt. In diese Betrachtungen sollten sowohl die einzelnen Restmüllfraktionen und der Klärschlamm (Anlageninput) als auch die gesamten unbehandelten bzw. behandelten Restabfälle einbezogen werden.

An dieser Stelle ist nochmals anzumerken, daß der TOC und Glühverlust den Trockenmasseanteil der organischen Inhaltsstoffe darstellen (sollen) und es sich damit um rein massenproportionale Parameter handelt. Wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert, beschreibt der obere Heizwert den Energiegehalt der Trockenmasse, der nicht nur durch die Masse der organischen Substanz sondern auch von der Art der organischen Verbindungen beeinflusst wird (quantitative und qualitative Abhängigkeit).

Für die Betreiber von MBRA wäre es sehr hilfreich, wenn sich der obere Heizwert des unbehandelten und behandelten Restabfalls auf Basis der Glühverluste (relativ genau) abschätzen lassen würde. Auf diese Weise wäre eine kostengünstige Selbstüberwachung möglich, da der Glühverlust in den meisten Fällen im betriebseigenen Labor bestimmt werden kann. Ein Zusammenhang zwischen H_o und TOC wäre weniger praxisrelevant, da die TOC-Bestimmung in der Regel nicht in der Betriebsanlage durchgeführt werden kann. Die Ausführungen bezüglich der Korrelationen zwischen H_o und TOC sind deshalb in Anhang J ausgelagert worden und können dort nachgelesen werden.

Wie bereits in Kapitel 4 erläutert besteht der Input der österreichischen MBRA zu etwa 95 % aus kommunalem Restmüll und Klärschlamm. Im Rahmen der Untersuchungen zum Input der MBRA Allerheiligen wurde der obere Heizwert für die relevanten Restmüllfraktionen und den Klärschlamm bestimmt. Für die einzelnen Restmüllfraktionen und den Klärschlamm liegen zwischen 15 und 20 Analysenwerte vor. Von der Feinmüllfraktion wurden 95 Proben untersucht. Da für jede aufbereitete Probe der H_o fünffach bestimmt wurde und der eigentliche Meßwert durch Mittelwertbildung (nach evtl. notwendiger Ausreißerelimination) errechnet wurde, ist die Datengrundlage, trotz der bereits angesprochenen Probleme bei der

Heizwertanalytik als ausreichend zu bezeichnen.

Die Ergebnisse der Analysen zum **oberen Heizwert** sind in Tabelle 10.1 zusammengestellt, wobei neben den Minimal- und Maximalwerten auch das arithmetische Mittel und prozentuale Standardabweichung angeführt sind.

Tabelle 10.1: Statistische Angaben zu den Ergebnissen der Untersuchungen zum oberen Heizwert für den Input der MBRA Allerheiligen

Restabfallfraktion	n	oberer Heizwert in kJ/kg TS			Standard-abw. [%]
		Min	Max	Mittel	
Kunststoffverpackungen	20	28.700	43.300	37.100	10,2
Sonstiger Kunststoff	15	31.000	39.900	34.700	22,8
Holz/Gummi/Leder	15	18.900	26.500	23.300	11,5
Verbundstoffverpackungen	15	17.300	27.800	22.300	12,2
Textilien/Bekleidung	20	16.500	25.800	19.900	10,2
Organik Küche	20	13.400	23.100	19.800	11,2
Windeln/Hygieneartikel	20	15.700	21.400	17.800	7,4
Organik Garten	20	13.300	20.700	16.800	11,4
Restfraktion	20	11.300	24.400	16.000	20,5
Papier/Pappe	20	10.500	17.300	15.100	8,7
Druckerzeugnisse	20	11.700	16.300	14.000	8,9
Feinmüll (gesamt)	95	200	11.500	4.000	68,0
Feinmüll (Sommer)	30	1.000	11.500	5.100	55,6
Feinmüll (Herbst)	5	1.600	9.600	4.700	63,3
Feinmüll (Winter)	30	300	5.900	2.700	68,9
Feinmüll (Frühjahr)	30	200	10.100	3.500	58,7
Klärschlamm	16	12.600	17.400	15.200	9,1

Wie zu erwarten sind für die Restmüllfraktionen große bis sehr große Schwankungsbreiten für den **oberen Heizwert** festzustellen, da auch diese eine teilweise sehr inhomogene Zusammensetzung aufweisen und der H_o von hochkalorischen Fraktionen durch "Verschmutzungen" (z.B. mineralische Anhaftungen der Feinmüllfraktion) stark beeinflusst werden kann. Der höchste durchschnittliche obere Heizwert wurde für die Fraktion Kunststoffverpackungen mit 37.100 kJ/kg TS ermittelt und den geringsten Mittelwert weist der Feinmüll mit 4.000 kJ/kg TS auf, dessen Heizwert damit lediglich knapp 11 % der Kunststoffverpackungen beträgt (im Winter sind es nur 7 %). Ausgehend von den Extremwerten dieser beiden Fraktionen (Minimum Feinmüll: 200 kJ/kg TS und Maximum Kunststoffverpackungen: 43.300) liegt zwischen den spezifischen oberen Heizwerten der Faktor 217.

Aufgrund der durchschnittlichen fraktionsspezifischen oberen Heizwerte, lassen sich die Abfälle grob in 3 Gruppen einteilen. Der Feinmüll mit einem $H_o \leq 4.000$ kJ/kg TS, die beiden

Kunststofffraktionen mit einem H_o zwischen 35.000 und 37.000 kJ/kg TS und die übrigen Fraktionen, die einen oberen Heizwert von 14.000 bis 23.000 kJ/kg TS aufweisen. Die Standardabweichung liegt für die meisten Restmüllfraktionen zwischen 7,4 % (Windeln/Hygieneartikel) und 11,5 % (Holz/Gummi/Leder), während für die Sortierreste ein Wert von über 20 % ermittelt wurde. Die größten Abweichungen vom H_o-Mittelwert ergeben sich für den Feinmüll. Der Feinmüll, der auch unabhängig von der Jahreszeit eine sehr inhomogene Zusammensetzung aufweist, hat eine H_o-Spannweite von 200 bis 11.500 kJ/kg TS und die Standardabweichung beträgt 68 %. Für den entwässerten Klärschlamm wurde ein mittlerer H_o von 15.200 kJ/kg TS mit einer Standardabweichung von rund 9 % ermittelt. Im Vergleich zu den meisten Restmüllfraktionen ist der durchschnittliche obere Heizwert des Klärschlammes relativ gering (siehe auch Tabelle 10.1).

Tabelle 10.2: Quotienten aus oberem Heizwert und Glühverlust für den Input der MBRA Allerheiligen

Restabfallfraktion	n	Quotient: oberer Heizwert/Glühverlust			Standard-abw. [%]
		Min	Max	Mittel	
Kunststoffverpackungen	20	311	450	396	8,9
Sonstiger Kunststoff	15	324	413	364	8,0
Verbundstoffverpackungen	15	202	325	262	13,1
Holz/Gummi/Leder	15	196	301	251	12,9
Restfraktion	20	172	288	233	12,2
Organik Küche	20	199	258	228	8,1
Textilien/Bekleidung	20	178	267	211	10,1
Organik Garten	20	179	232	200	6,6
Windeln/Hygieneartikel	20	167	231	193	7,1
Papier/Pappe	20	119	194	174	9,2
Druckerzeugnisse	20	135	188	170	8,5
Feinmüll (gesamt)	95	26,3	303	168	35,1
Feinmüll (Sommer)	30	62,5	242	166	27,0
Feinmüll (Herbst)	5	119	237	196	25,3
Feinmüll (Winter)	30	26,3	303	146	49,8
Feinmüll (Frühjahr)	30	37,4	241	161	29,4
Klärschlamm	16	198	257	227	6,0

In Tabelle 10.2 sind die fraktionsspezifischen Quotienten von H_o und Glühverlust zusammengestellt, wobei auch hier neben den Minimal- und Maximalwerten auch das arithmetische Mittel und die prozentuale Standardabweichung angeführt sind. Eine analoge Aufstellung für die Quotienten aus H_o und TOC kann Tabelle J1 im Anhang J entnommen werden. Zur Berechnung der Quotienten wird für den TOC die Einheit g/kg TS, den Glühverlust M-% TS und den H_o kJ/kg TS verwendet.

Auf Basis der Einzelanalysen wurde das geringste **H_o/GV-Verhältnis** für den Feinmüll mit 26,3 ermittelt, während der höchste Quotient für die Kunststoffverpackungen 450 beträgt. Auch hier ergeben sich größere Schwankungsbreiten für die einzelnen Fraktionen, wobei die Standardabweichung für die meisten Fraktionen zwischen 6,6 % (Gartenorganik) und 13,1 % (Verbundstoffverpackungen) liegt. Lediglich für den Feinmüll wurde eine durchschnittliche Standardabweichung von rund 35 % ermittelt, wobei die größten Unterschiede erwartungsgemäß im Winter lagen. Die einzelnen Fraktionen lassen sich nach den spezifischen Quotienten aus H_o und GV grob in 3 Gruppen einteilen. Für die Fraktionen Feinmüll, Druckerzeugnisse und Papier/Pappe beträgt das H_o/GV-Verhältnis 168 bis 174, während für die Fraktionen und Gartenorganik Textilien, Küchenorganik, Sortierreste, Holz/Gummi/Leder und Verbundstoffverpackungen ein Quotient von 193 bis 262 ermittelt wurde. Die 3. Gruppe besteht aus den beiden Kunststofffraktionen deren durchschnittliches H_o/GV-Verhältnis wesentlich höher ist und bei 364 bzw. 396 liegt. Für den Klärschlamm beträgt das mittlere H_o/GV-Verhältnis 227 der sich damit Gruppe 2 zuordnen läßt (siehe auch Tabelle 10.2).

Diese, teilweise extrem große Spannweite der oberen Heizwerte innerhalb bzw. zwischen den einzelnen Abfallarten und die Schwankungen der Quotienten H_o und Glühverlust (bzw. TOC) verdeutlichen, daß für belastbare Aussagen über evtl. vorhandene Korrelationen zwischen dem oberen Heizwert und den beiden organischen Summenparametern Glühverlust und TOC nur auf Basis einer ausreichenden Datengrundlage getroffen werden können. Diese Voraussetzung ist aus Sicht des Verfassers zumindest annähernd erfüllt, da insgesamt 316 vollständige Datensätze zur Verfügung stehen. Die Beziehungen zwischen dem Parameter oberer Heizwert und Glühverlust ist in Abbildung 10.1 aus Gründen der Übersichtlichkeit für die Mittelwerte der Fraktionen graphisch dargestellt. Zusätzlich zu den Mittelwerten der wurde noch der in Kapitel 6.2.3.2 berechnete Durchschnittswert für den gesamten Restmülls eingefügt. Die analoge Darstellung für den Zusammenhang zwischen H_o und TOC kann Anhang J entnommen werden.

Für die Beziehung zwischen oberem Heizwert und Glühverlust ergibt sich eine Gerade mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,86, der für abfallanalytische Betrachtungen auf den ersten Blick einen akzeptablen Wert darstellt. Abbildung 10.1 verdeutlicht aber nochmals, daß das der Quotient aus H_o und Glühverlust für die einzelnen Fraktionen teilweise extreme Unterschiede aufweist. So liegt der Mittelwert für die Fraktion Holz/Gummi/Leder (Glühverlust: 92,7 %, H_o: 23.300 kJ/kg TS) praktisch auf der Gerade, während der Mittelwert für die Kunststoffverpackungen bei annähernd gleichem Glühverlust (93,7 %) aber wesentlich höherem H_o (37.100 kJ/kg TS) um ca. 60 % über der Ausgleichsgeraden liegt. Auch für die Mittelwerte der Fraktionen Druckerzeugnisse, Papier/Pappe und Windeln/Hygieneartikel liegen die Abweichungen über 20 %. Deshalb ist es wie zu erwarten **nicht** generell möglich, die oberen Heizwerte auf Basis der Glühverlustwerte für die Restmüllfraktionen abzuschätzen. Außerdem ist darauf hinzuweisen, daß die Korrelation nur für den Glühverlustbereich von 18,5 bis 95 % gilt und für geringere Glühverlustwerte nicht

anwendbar ist.

Für die übrigen Fraktionen sind zumindest grobe Abschätzungen für den oberen Heizwert über den Glühverlust möglich. Interessant ist aber, daß sich der Zusammenhang zwischen H_o und Glühverlust für den Anlageninput der MBRA Allerheiligen (gesamter Restmüll und Klärschlamm) mit der Ausgleichsgerade recht gut beschreiben läßt. So liegen die Werte für Feinmüll (30 TM-% des Restmülls), Küchenorganik, Holz/Gummi/Leder und Sortiereste relativ nah an der Geraden. Das gleiche gilt für den Klärschlamm und das ermittelte durchschnittliche H_o/Glühverlust-Verhältnis des gesamten Restmülls.

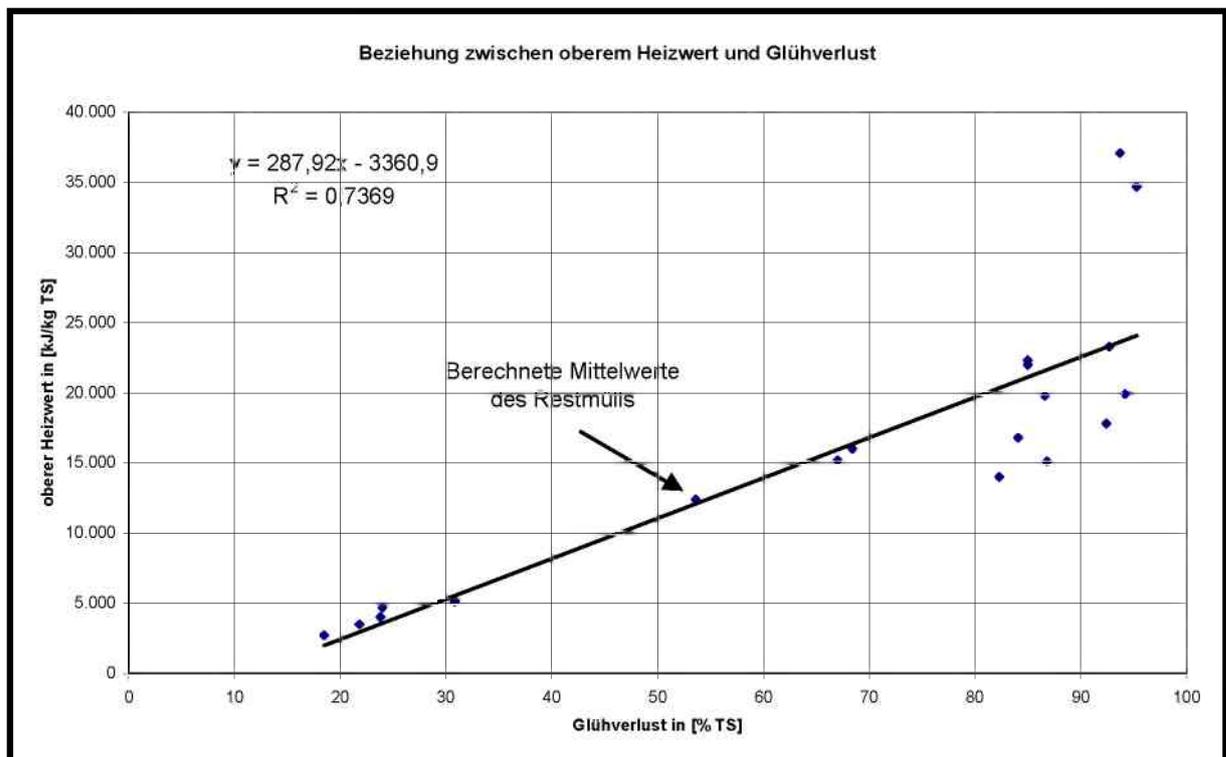


Abbildung 10.1: Beziehung der Parameter oberer Heizwert und Glühverlust von einzelnen Sortierfraktionen (jeweils Mittelwerte aus den gesamten Sortierungen bzw. bei Feinmüll aus den einzelnen Sortierungen)

Nun stellt sich die Frage, ob diese Korrelation zwischen H_o und Glühverlust auch für die mechanisch-biologisch vorbehandelte Restabfälle ihre Gültigkeit hat. Wie die bisherigen Ausführungen gezeigt haben, hängt der Quotient aus oberem Heizwert und Glühverlust eines jeden Restabfalls entscheidend von der stofflichen Zusammensetzung ab und kann deshalb in relativ weiten Grenzen variieren. Wird auf Basis der Glühverlustwerte der obere Heizwert prognostiziert, so wird dieser bei kunststoffreichen Restabfällen i.d.R. unterschätzt und bei solchen, deren Gehalt an Papier/Pappe bzw. Druckerzeugnissen hoch ist,

überschätzt. Da die Kunststoffe bei den meisten MBRA in Österreich derzeit nicht effektiv abgetrennt werden und es im Verlauf der biologischen Behandlung aufgrund des Masseabbaus zu einer Anreicherung der biologisch nicht abbaubaren Kunststoffe kommt, ist deren Einfluß auf das H_o/GV-Verhältnis relativ groß.

Außerdem ist zu beachten, daß der Quotient aus H_o und Glühverlust keine konstante Größe darstellt sondern sich im Verlauf der biologischen Behandlung durch die mikrobielle Teilmineralisierung ändern kann. Hier wäre eine Verringerung des H_o/Glühverlust-Verhältnisses zu erwarten; dies konnte bisher durch die eigenen Untersuchungen aber nicht nachgewiesen werden. Eine weitere wesentliche Einflußgröße stellt der verwendete Siebschnitt dar. So konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen an verschiedenen MBRA festgestellt werden, daß der Quotient aus H_o und Glühverlust für ein Rottegut der Körnung 0-24 mm i.d.R. geringer als für die Fraktion 24-80 mm. Hierfür sind im wesentlichen die heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren Materialien verantwortlich.

Diese Ausführungen verdeutlichen, daß es nicht möglich sein wird, eine belastbare Korrelation zwischen H_o und Glühverlust zu ermitteln, die eine analytische Bestimmung des oberen Heizwertes überflüssig macht. Trotzdem wurden in der Vergangenheit immer wieder Formeln für den Glühverlust entwickelt, mit deren Hilfe sich der H_o mehr oder weniger genau abschätzen läßt. Regelmäßig angewandt wird die Formel von SHIN [44]:

$$H_o \text{ [kJ/kg TS]} = 523 \times \text{Glühverlust}^{0,77}$$

Nach dieser Formel wäre ein Glühverlust < 24 % erforderlich, um den Grenzwert der Deponieverordnung von 6.000 kJ/kg TS einzuhalten. Dies ist zum einen durch die mechanisch-biologische Behandlung i.d.R. nicht zu erreichen und zum anderen entspricht es nicht der Realität, da im Rahmen der eigenen Untersuchungen festgestellt werden konnte, daß auch Proben mit einem Glühverlust um 30 % den Grenzwert einhalten.

Derzeit existiert aus Sicht des Verfassers noch keine ausreichende Datengrundlage, um wirklich belastbare Korrelationen zwischen den Parametern H_o und Glühverlust für das **Rottegut** aus der MBR nachzuweisen. Deshalb wird im folgenden der Versuch unternommen, diesen Zusammenhang durch die verfügbaren Meßwertpaare für unbehandelten Restmüll (bzw. Restmüllfraktionen), Klärschlamm und das Rottegut aus den verschiedensten Betriebsanlagen bzw. Pilotprojekten zu ermitteln. Neben den eigenen Analysenwerten sind auch die verfügbaren Ergebnisse anderer Projekte [29, 38, 41] eingeflossen. Das Ergebnis ist als Gesamtdarstellung (Glühverlust 0 bis 100 %) in Abbildung 10.2 und für den Bereich der Glühverluste von 0 bis 50 % in Abbildung 10.3 dargestellt. Insgesamt wurden 640 Datensätze verarbeitet.

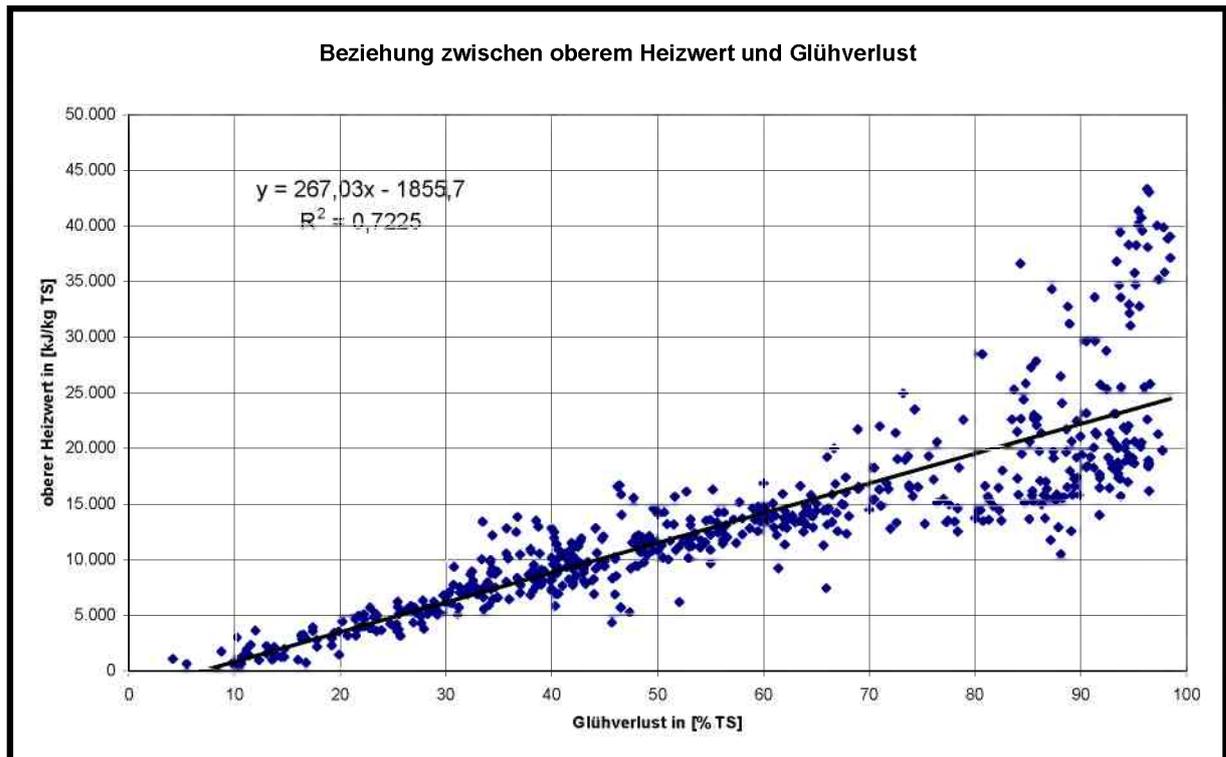


Abbildung 10.2: Korrelation zwischen H_o und Glühverlust für unbehandelte und behandelte Restabfälle auf Basis der eigenen Untersuchungsergebnisse ergänzt durch [29, 38 und 41] (Gesamtdarstellung: Glühverlust von 0 bis 100 %)

Es ergibt sich auch hier eine Ausgleichsgerade mit einem akzeptablen Korrelationskoeffizient von 0,85, allerdings ist die Steigung mit 267 geringer als in Abbildung 10.1 und der Schnittpunkt mit der Y-Achse liegt aufgrund des flacheren Verlauf bei -1.856 und nicht bei -3.360. Nach dieser Darstellung entspricht ein H_o von 6.000 kJ/kg TS einem Glühverlust von 29,4 %. Es gibt aber auch Proben, die bei Glühverlust < 29 % den Grenzwert für den H_o nicht einhalten können. Sieht man sich den Glühverlustbereich von 30 bis 40 % an so sind hier erhebliche Abweichungen von der Ausgleichsgeraden, insbesondere nach oben (zu erhöhten H_o) festzustellen. Hierfür dürften in erster Linie Kunststoffe verantwortlich sein.

Für die Praxis der Betreiber von MBRA ergibt sich hier die (unbefriedigende) Schlußfolgerung, daß sich der obere Heizwert des Rottegutes zwar durch die Formel:

$$H_o \text{ [kJ/kg TS]} = 267 \times \text{Glühverlust} - 1.856 \text{ (Glühverlustbereich von 10 bis 95 \%)}$$

abschätzen läßt, eine fundierte Aussage, ob der Grenzwert der Deponieverordnung eingehalten wird oder nicht aber nicht getroffen werden kann. Es kann aber festgestellt werden, daß die analytische Heizwertbestimmung erst dann sinnvoll sind, wenn der Glühverlust < 35 % ist, da ansonsten der obere Heizwert sicher über 6.000 kJ/kg TS liegt.

Derzeit laufen am IED weitere Untersuchungen, um eine belastbare Korrelation zwischen H_o und Glühverlust ausschließlich für das Rottegut aus der MBR nachzuweisen. Die Ergebnisse werden im Frühjahr 1999 vorliegen und diese werden zeigen, ob es sich bei der obigen Formel um ein brauchbares Hilfsmittel, zumindest für grobe Abschätzungen des oberen Heizwertes auf Basis des gemessenen Glühverlustes eignet oder nicht. Abschließend muß hier aber nochmals festgestellt werden, daß die analytische Bestimmung des oberen Heizwertes im Vollzug der Deponieverordnung (in der gültigen Fassung) unumgänglich ist und hierfür eine (bisher nicht vorhandene) praktikable und allgemein akzeptierte Analysennorm eine fundamentale Voraussetzung darstellt.

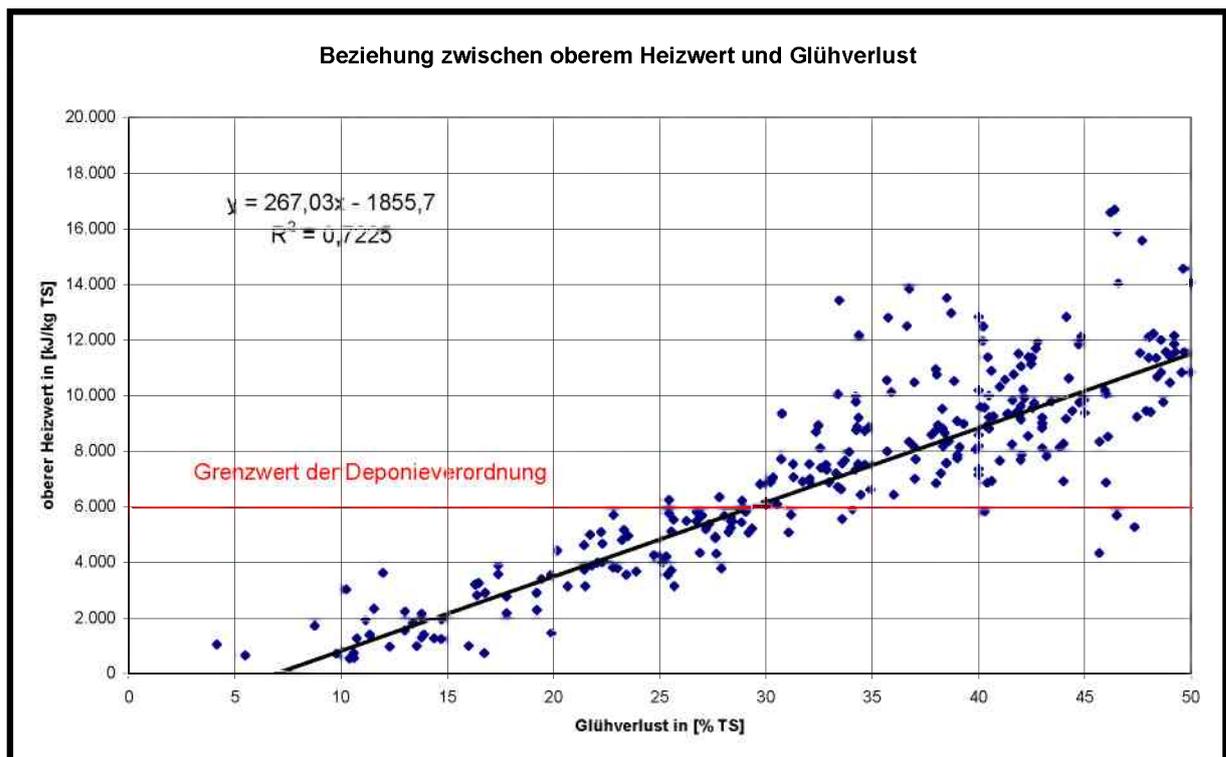


Abbildung 10.3: Korrelation zwischen H_o und Glühverlust für unbehandelte und behandelte Restabfälle auf Basis der eigenen Untersuchungsergebnisse ergänzt durch [29, 38 und 41] (Ausschnitt: Glühverlust von 0 bis 50 %)

11 Forschungsbedarf







12 Zusammenfassung









13 Verzeichnisse

13.1 Literatur

- [1] Krammer, H.J.: "Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan 1995". Monographien Bd. 61-66, Umweltbundesamt Wien/Klagenfurt, Juni 1995
- [2] Raninger, B.: "Mechanisch-biologische Abfallbehandlung". Habilitationsschrift an der Montanuniversität Leoben, Hof/Salzburg, Oktober 1996
- [3] Nelles, M.; Neff, A. Redl, C.C.; Lorber, K.E.: "Bestandsaufnahmen für die Erstellung von Klärschlammverwertungs- und Entsorgungskonzepten für das Einzugsgebiet Mur-Mürz sowie die Bezirke Leibnitz, Deutschlandsberg und Weiz". Studien im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, 1996 und 1997 (unveröffentlicht)
- [4] Lorber, K.E.; Nelles, M.; Krenn, A.: "Verwertungs- und Entsorgungskonzepte für kommunale Klärschlämme in den österreichischen Bundesländern". Beitrag im Tagungsband zum 9. Internationalen Recyclingcongress in Hamburg von Thomé-Kozmiensky (Hrsg.) "Abfallwirtschaft am Wendepunkt", TK Verlag, Neuruppin, 1997
- [5] Raninger, B.; Nelles, M.: "Klärschlammverwertung in Österreich - derzeitiger Stand und Trends für die Zukunft". Beitrag im Tagungsband der Konferenz zur Abwasserreinigung und Abfallwirtschaft; Kecskemét, Ungarn, Dezember 1997
- [6] Nelles, M.; Harant, M.; Hochhuber, J.; Lorber, K.E.: "Untersuchungen zur landwirtschaftlichen bzw. landschaftsbaulichen Verwertbarkeit des Klärschlammes aus der Großkläranlage Graz". Studie im Auftrag der Abfallentsorgungs- und Verwertungs GmbH (AEVG), Graz, Mai 1996 (unveröffentlicht)
- [7] Nelles, M.; Raninger, B.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.: "Stand und Perspektiven für die mechanisch-biologische Restabfallbehandlung in Österreich". Beitrag im Tagungsband zum 9. Internationalen Recyclingcongress in Hamburg von Thomé-Kozmiensky (Hrsg.) "Abfallwirtschaft am Wendepunkt", TK Verlag, Neuruppin, 1997
- [8] Göbel, W.: "Möglichkeiten zur Anpassung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlungsanlage (MBRA) der Salzburger Abfallbeseitigung (SAB) an den Stand der Technik". Diplomarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) in der Studienrichtung "Industrieller Umweltschutz, Entsorgungstechnik und Recycling" an der Montanuniversität Leoben, Juni 1997
- [9] Wiemer, K.; Kern, M.: "Mechanisch-biologische Restabfallbehandlung nach dem Trockenstabilatverfahren". Fachbuchreihe "Abfallwirtschaft: Neues aus der Forschung und Praxis", Baeza-Verlag Witzenhausen 1995
- [10] Informationsmaterial der Firma Herhof über das Trockenstabilatverfahren und die

- MBRA Aßlar, Solms, Juni 1997
- [11] Nelles, M.: "Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Verbrennung (MBRVV) im Abfallwirtschaftszentrum Halbenrain". Unveröffentlichter Forschungsantrag des Institutes für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED), Montanuniversität Leoben (MUL), Januar 1997
- [12] Bundesministerium für Umwelt (1996) "Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung)", BGBl.Nr. 164/1996, Wien 1996
- [13] Nelles, M.; Harant, M.; Rauch, G.: "Untersuchungen zur Optimierung der Rotte und Abtrennung der heizwertreichen, biologisch nicht abbaubaren organischen Bestandteile in der MBRA Zell am See"; Untersuchungen des IED im Auftrag der ZEMKA GmbH, Leoben, April 1998 (unveröffentlicht)
- [14] Raninger, B.; Nelles, M.; Harant, M.; Lorber, K.E.; Neff, R.; Siebenhofer, M.: "Konzeptstudie Restabfallsplitting - Machbarkeitsstudie zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung". Studie im Auftrag der Firmen Saubermacher/ADL, Salzburg, Leoben, August 1997
- [15] Hasenkamp, P.: "Modell Münster: Aufbruch in eine neue Konzeption": Beitrag im Tagungsband zum 9. Kasseler Abfallforum von Wiemer, K; Kern, M (Hrsg.) "Bio- und Restabfallbehandlung", Baeza-Verlag, Witzenhausen, 1997
- [16] Bundesministerium für Umwelt (1990): "Abfallwirtschaftsgesetz", BGBl. Nr. 325/1990, Wien, 1990
- [17] Wasserrechtsgesetznovelle Deponien (WRG), BGBl. Nr. 59/1997, Wien 1997
- [18] Altlastensanierungsgesetz (AlsaG), BGBl. Nr. 201/1996, Wien, 1996
- [19] Deutsche Bundesregierung: "Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall). Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 99 vom 29. Mai 1993
- [20] Deutsche Bundesregierung: "Drucksache 13/8235; Deponierbarkeit von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen, Bonn 1997
- [21] Fricke, K.; Müller, W.; Bidlingmaier, W.; Rettenberger, G.; Stegmann, R.; Friedrich, R.: "Gleichwertigkeitsnachweis nach Ziffer 2.4 TAsi - Methodische Ansätze, Grenzwerte und sonstige technische Anforderungen", Witzenhausen Februar 1998
- [22] Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF): "Verbundvorhaben. Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen". Tagungsband zum Statusseminar, 17. bis 19. März 1998 in Potsdam
- [23] Doedens, H.; Grieße, A.: "Nachweis der Gleichwertigkeit gemäß den Schutzziele der TAsi", Tagungsband der 2. Niedersächsischen Abfalltage, Oldenburg 1998
- [24] ÖNORM S 2023: "Untersuchungsmethoden und Güteüberwachung von Komposten,

- Ausgabe: 1. November 1993
- [25] Völker, M.: "Ist der Parameter Glühverlust ein sinnvoller Parameter zur Beurteilung von Industrieabfällen ?", Beitrag in Müll und Abfall 12/91, 1991
 - [26] Lepom, P.; Henschel, P.: "Verfahren zur Charakterisierung des biologisch abbaubaren Anteils der organischen Substanz"; Müll und Abfall 7/93, 1993
 - [27] DIN 51900: "Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe - Bestimmung des Brennwertes mit dem Bombenkalorimeter und Berechnung des Heizwertes", November 1989
 - [28] ÖNORM C 1138: "Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe - Verbrennungswert und Heizwert", September 1966
 - [29] Binner, E; Zach, A; Widerin, M; Lechner, P.: "Auswahl und Anwendbarkeit von Parametern zur Charakterisierung der Endprodukte aus mechanisch-biologischen Restmüllbehandlungsverfahren"; Studie im Auftrag des BMUJF Wien 1997
 - [30] Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF): "Verbundvorhaben. Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen". Tagungsband zur 1. Tagung, 13. bis 14. März 1996 in Potsdam
 - [31] Müller, W.; Fricke, K.; Lechner, P.; Doedens, H.: "Prüfmethoden zur Beschreibung der biologischen Stabilität von Restabfällen" in "Mechanisch-biologische Verfahren zur stoffspezifischen Abfallaufbereitung"; Bilitewski, B.; Stegmann, R. (Hrsg.); Beiheft zu "Müll & Abfall" 1997
 - [32] Mostbauer, P. (UBA Wien): Persönliche Mitteilung vom 10. März 1998
 - [33] Von Felde, D.: "Untersuchungsergebnisse aus niedersächsischen Demonstrationsanlagen" im Tagungsband der 2. Niedersächsischen Abfalltage, Oldenburg 1998
 - [34] Raninger, B; Nelles, M.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.: "Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband - 2. Projektphase: Verhalten der mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle auf der Deponie"; Untersuchungen des IED im Auftrag des BMUJF und der Steiermärkischen Landesregierung, 1. Zwischenbericht, Leoben, Dezember 1997
 - [35] Humer, M.; Lechner, P.: "Grundlagen der biologischen Methanoxidation - Perspektiven für die Entsorgung von Deponiegas". Waste Reports No. 5, Universität für Bodenkultur, Abteilung Abfallwirtschaft, Wien August 1997
 - [36] Mitgliederliste des Interessenverbundes MBA, Zell am See (ZEMKA) März 1998

 - [37] Angerer, T.: "Stand der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR) in Österreich". Diplomarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) in

- der Studienrichtung "Industrieller Umweltschutz, Entsorgungstechnik und Recycling" an der Montanuniversität Leoben, November 1997
- [38] Engenhart M, Göschl C. (1994): Untersuchungen zur Auswirkung der Restmüllrotte auf der NUA Pöchlarn, Endbericht der Niederösterreichischen Umweltschutzanstalt, Mariaenzersdorf, Juni 1994
- [39] Ringhofer, J.: "Versuche zur Restmüllrotte des BAV Freistadt". Endbericht der Begleitdokumentation im Auftrag der OÖ Landesregierung, Zöbern, März 1995
- [40] Allplan GesmbH (1995), Machbarkeitsstudie "Thermische Behandlung von nicht gefährlichen Stoffen", im Auftrag der AbfallverwertungsGesmbH, Wien 1995
- [41] Gaugg, J.; Wengen-Oehn, H.;, 1997 "Grundlagenerhebung zur Restmüllbehandlung in Vorarlberg", Studie der Salzmann Ingenieurbüro GmbH im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz April 1997
- [42] Nelles, M.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger, B.: "Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband - 1. Projektphase". Untersuchungen des IED im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung, Endbericht, Leoben, September 1997
- [43] Braun, R.: "Anaerobtechnologie für die mechanisch-biologische Vorbehandlung von Restmüll und Klärschlamm". Studie im Auftrag des BMUJF, Wien, 1997
- [44] Fuchs, A.: "Anlagen zu aeroben mechanisch-biologischen Vorbehandlung von Restmüll und Klärschlamm". Studie des Büros Fichtner im Auftrag des BMUJF, Stuttgart, November 1997
- [45] Harant, M.; Nelles, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger, B.: "Pilotprojekt zur mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung vor der Deponierung (MBRVD) im Mürzverband - Projektphase 2a: Stoffstromanalyse". Untersuchungen des IED im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung und des BMUJF, Zwischenbericht, Leoben, Dezember 1997
- [46] Holzer, C.; Loidl, M.: "Mechanisch-biologische Behandlung - Projektvorhaben des BMUJF". Vortrag im Rahmen des Einstiegsseminars zur Prüfung der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBR) für die Grazer Kommunalabfälle am 26. Juni 1997 in Graz
- [47] Baumann, J; Faulstich, M.; Nelles, M.: "Möglichkeiten und Grenzen des Restabfallsplittings am Beispiel der Abfallbehandlungsanlage Kufstein". Projektantrag, Augsburg/München/Leoben, 1997 (unveröffentlicht)
- [48] Pichler, P.; Mayr, B.; Heumann, S.: "Mechanisch-biologische Behandlung der Feinfraktion als Maßnahme eines Optimierungskonzeptes in Bezug auf vorhandene Abfallbehandlungsanlagen am Beispiel der Müllanlage Liezen". Vortrag im Rahmen der Schulungsreihe für steirische Abfallberater am 10. März 1998 in Graz

- [49] ÖNORM S 2022: "Gütekriterien für Müllkompost", Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1989
- [50] Bidlingmaier, W.; Streff, I.; Müsken, J.: "Erste Ergebnisse der Orientierungsversuche zur Restmüllvergärung und Verrottung". Seminarunterlagen "Kommunale Abfallentsorgung - Was tun mit dem Restmüll, Stuttgart, 1992
- [51] Gstraunthaler, G.: "Spermüllprojekt - Tirol". Endbericht zum Pilotprojekt im Auftrag der Tiroler Landesregierung, 1997
- [52] Kalla, C.: "Optimierung der MBRA Horm und Kombination mit thermischen Verfahren". Beitrag im Tagungsband des Statusseminars zum "Verbundvorhaben: Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen", 17. bis 19. März 1998 in Potsdam
- [53] Spitzbart, M 1996: "Kombinierte Biowäsche/Biofiltration zur Abluftreinigung auf Kompostierungsanlagen; Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Institut für Wasservorsorge, Gewässerökologie und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft
- [54] Cuhls, C.: "Bilanzierung von Umweltchemikalien bei der biologischen Vorbehandlung von Restabfällen"; Beitrag im Tagungsband des Statusseminars zum "Verbundvorhaben: Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfällen", 17. bis 19. März 1998 in Potsdam
- [55] Lampe, C.: "Untersuchung der Restabfallzusammensetzung des Mürzverbandes (Steiermark) im Hinblick auf die mechanisch-biologische Behandlung". Diplomarbeit im Studiengang "Technischer Umweltschutz", TU Berlin/Montanuniversität Leoben, April 1997
- [56] Liedl, J.: "Aufkommen und Zusammensetzung betrieblicher Abfälle im Mürzverband". Diplomarbeit am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) in der Studienrichtung "Industrieller Umweltschutz, Entsorgungstechnik und Recycling" an der Montanuniversität Leoben, Februar 1998
- [57] Huber, I.: "Statistisches Jahrbuch für die Republik Österreich, XLVI. Jahrgang". Neue Folge, S. 16/17, Hrsg.: Österreichisches Statistisches Zentralamt, Wien 1995
- [58] ÖSTAT: "Statistisches Handbuch 1991, Ergebnisse der Volkszählung 91". Hauptergebnisse II Steiermark, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz 1992
- [59] AWW Mürzverband, 1996/97: Betriebsinternes Datenmaterial des Abfallwirtschaftsverbandes, Kapfenberg/Allerheiligen 1997
- [60] Barghoorn, M.; Gössele, P.; Kaworski, W.: "Bundesweite Hausmüllanalyse 83-85". Forschungsbericht 103 03 508 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dezember 1986
- [61] Barghoorn, M.; Zwisele, B.: "Berliner Abfallerhebung 1992/93". Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag der DASS, Berlin, Juli 1993

- [62] Kautz, O.; Schöpe, B.: "Skript zum Praktikum Abfallwirtschaft I". TU Berlin, Fachgebiet Abfallwirtschaft, WS 95/96, Berlin 1995
- [63] BMUNR: "Ergänzende Empfehlungen zur TA-Siedlungsabfall". Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Deutschland), BAnz. Nr. 99 vom 29.05.1993
- [64] BMUJF: "Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Festsetzung von Zielen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen von Getränkeverpackungen und sonstigen Verpackungen (ZielVO Verpackungsabfälle)", BGBl. Nr. 646/1992, zuletzt geändert durch BGBl. Nr. 649/1996
- [65] BMUJF: "Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Vermeidung und Verwertung von Verpackungsabfällen und bestimmten Warenresten und die Einrichtung von Sammel- und Verwertungssystemen (VerpackVO 1996)", BGBl. Nr. 648/1996
- [66] BMUJF: "Erläuterungen zur Deponieverordnung". ZI. 32 3576/3-III/2/97, Wien am 16. Juli 1997
- [67] Steiermärkische Landesregierung: "Steiermärkische Klärschlammverordnung". LGBl. 66/1987, Graz 1987
- [68] UBA: "Kommunaler Klärschlamm in Österreich: Ist - Zustand und Perspektiven"; Wien, Juni 1994
- [69] Reinhaltverband Steyr: "Untersuchungen zum oberen Heizwert von ausgefaulten kommunalen Klärschlämmen nach der Entwässerung in Kammerfilterpressen bei Konditionierung mit Kalk und Eisensalzen". Steyr Oktober 1997
- [70] Thomé-Kozmiensky, K. J.: "Kompostierung von Abfällen 1". EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin 1985
- [71] Sattler, K.; Emberger, J.: "Behandlung fester Abfälle". 3. Auflage, Vogel-Verlag, Würzburg 1992
- [72] Harant, M.; Nelles, M.; Raninger, B.; Hofer, M.; Lorber, K.E.: "Deponieverhalten von mechanisch-biologisch behandelten Restabfällen". Seminarunterlagen "Die Deponie im Jahre 2004". ÖWAV-Seminar vom 12. bis 13. Mai 1998 an der TU Wien
- [73] Nelles, M.; Harant, M.; Hofer, M.; Lorber, K.E.; Raninger, B.: "Kombination von mechanisch-biologischen und thermischen Verfahren zur umweltverträglichen Restabfallbehandlung". Beitrag im Tagungsband der VDI-Tagung "Restmüllentsorgung '98" vom 12 bis 13. Mai 1998 in Würzburg/Veitshöchheim

13.2 Abbildungen

Inhalt der Abbildungen	Seite
Abbildung 2.1: Schematische Darstellung grundlegender Varianten der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung nach [7]	8
Abbildung 2.2: Vereinfachtes Verfahrensschema der MBRA in Salzburg-Siggerwiesen inklusive Massenbilanz für das Jahr 1995 nach [8]	10
Abbildung 2.3: Schematischer Aufbau der MBRA Aßlar zur Trockenstabilisierung von kommunalen Restabfällen mit prognostizierter Massenbilanz nach [10]....	12
Abbildung 2.4: Verfahrenskonzept der MBRA in Zell am See mit prognostizierter Massenbilanz nach [13]	15
Abbildung 3.1: Entwicklung der Höhe des Altastenbeitrages für die direkte Deponierung von Restmüll bis zum Jahr 2004.....	23
Abbildung 4.1: Geographische Lage der untersuchten MBRA in Österreich.....	34
Abbildung 4.2: Verringerung des oberen Heizwertes im Rottegut der MBR mit zunehmender Behandlungsdauer.....	52
Abbildung 5.1: Die Gemeinden der Bezirke Bruck an der Mur und Mürzzuschlag.....	58
Abbildung 5.2 Abfallaufkommen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen im Mürzverband für das Jahr 1996 in Massenprozent [nach 59].....	60
Abbildung 5.3: Die Restmüllanlieferungen der kommunalen Müllabfuhr im Mürzverband der Jahre 1991 bis 1996 [nach 59]	60
Abbildung 5.4: TS-Gehalte und Entsorgungswege für die entwässerten Klärschlämme des Mürzverbandes im Jahr 1996 [nach 59].....	61
Abbildung 5.5: Vereinfachtes Verfahrensschema der MBRA Allerheiligen	64
Abbildung 6.1: Die Sortiermannschaft bei der Arbeit; wichtigstes Hilfsmittel ist der Sortiertisch, auf den der Abfall mit einer Schaufel aufgegeben wird	69
Abbildung 6.2: Aufsicht auf den Arbeitsplatz mit Sortiertisch (10-mm-Sieb) und Sortierbehältern für 21 Fraktionen	69
Abbildung 6.3: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Sommeranalyse	71
Abbildung 6.4: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Herbstanalyse, (Angaben in Massenprozent).....	73
Abbildung 6.5: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Winteranalyse	74
Abbildung 6.6: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei der Frühlingsanalyse	75
Abbildung 6.7: Durchschnittliche Restmüllzusammensetzung bei den vier Sortieranalysen, (Angaben in Massenprozent)	77
Abbildung 6.8: Aufteilung der H _o -Gesamtfracht des Restmülls auf die relevanten Sortierfraktionen.....	90
Abbildung 8.1: Durchschnittliche Zusammensetzung des Inputs der MBRA Allerheiligen im Jahr 1996	97
Inhalt der Abbildungen	Seite

Abbildung 8.2: Prozentuale Verteilung der gesamten Trockenmasse bzw. H _o -Fracht auf die Restmüllfraktionen vor (linke Säulen) und nach der mechanischen Vorbehandlung (rechte Säulen).....	98
Abbildung 8.3: Einteilung der Restmüllfraktionen nach ihrer biologischen Abbaubarkeit (Angaben in M-%).....	102
Abbildung 8.4: Glühverlust und oberer Heizwert vor (Meßwerte) und nach (prognostizierte Werte) der ausschließlich biologischen Behandlung des Restmülls.....	105
Abbildung 8.5 Glühverlust und oberer Heizwert vor (Meßwerte) und nach (prognostizierte Werte) der biologischen Behandlung des Klärschlammes.....	106
Abbildung 8.6: Prognostizierte TM- und H _o -Bilanz für die MBRA Allerheiligen ohne Abtrennung der heizwertreichen Materialien nach der Rotte.....	109
Abbildung 9.1: Untersuchungsprogramm zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen ...	112
Abbildung 9.2: Wassergehalt im Rotteverlauf der nicht bewässerten Charge (Trockenstabilisat).....	120
Abbildung 9.3: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Variante 1.....	120
Abbildung 9.4: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Variante 2.....	121
Abbildung 9.5: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Variante 3.....	122
Abbildung 9.6: Wassergehalte im Rotteverlauf für die Chargen der Variante 4.....	122
Abbildung 9.7: Abbaugrad der organischen Substanz für das Material 0-80 mm der Varianten 3 und 4.....	123
Abbildung 9.8: Abbaugrad der organischen Substanz für das Material 0-24 mm der Varianten 1 bis 4.....	124
Abbildung 9.9: Masseanteil der Fraktion > 24 mm nach der Absiebung für die einzelnen Chargen von Varianten 3 und 4 in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Rottegutes.....	134
Abbildung 9.10: Korngrößenverteilung der Fraktionen 0-12 mm, 12-24 mm, 24-80 mm und 0-80 mm (Mittelwerte) nach 22 Wochen Rotte.....	137
Abbildung 9.11: Korngrößenverteilung der Fraktion 12-24 mm für Chargen 2 und 6 der Variante 4 nach 22 Wochen Rotte.....	138
Abbildung 9.12: Massenbilanz für die MBRA Allerheiligen bei einer Rottedauer von 22 Wochen gemäß Variante 4 (alle Angaben in M-%).....	140
Abbildung 9.13: Massenbilanz für den optimierten Betrieb der MBRA Allerheiligen im Jahr 2004 bei 22-wöchiger Rotte gemäß Variante 4 (alle Angaben in M-%).....	146
Abbildung 10.1: Beziehung der Parameter oberer Heizwert und Glühverlust von einzelnen Sortierfraktionen (jeweils Mittelwerte aus den gesamten Sortierungen bzw. bei Feinmüll aus den einzelnen Sortierungen).....	151
Inhalt der Abbildungen	Seite

Abbildung 10.2: Korrelation zwischen H_o und Glühverlust für unbehandelte und behandelte Restabfälle auf Basis der eigenen Untersuchungsergebnisse ergänzt durch [29, 38 und 41] (Gesamtdarstellung: Glühverlust von 0 bis 100 %)	153
Abbildung 10.3: Korrelation zwischen H_o und Glühverlust für unbehandelte und behandelte Restabfälle auf Basis der eigenen Untersuchungsergebnisse ergänzt durch [29, 38 und 41] (Ausschnitt: Glühverlust von 0 bis 50 %)	154

13.3 Tabellen

Inhalt der Tabellen	Seite
Tabelle 2.1: Beispiele für Restabfälle, die sich für die mechanisch-biologische Behandlung eignen und prognostizierte Anfallmengen für das Jahr 2000	7
Tabelle 2.2: Ziele und Optionen der mechanischen Aufbereitung	7
Tabelle 2.3: Ziele und Dauer der biologischen Behandlung	7
Tabelle 2.4: Gesamtinput der MBRA Siggerwiesen im Jahr 1995	9
Tabelle 3.1: Grenzwerte für Schadstoffgesamtgehalte für Reststoff- und Massenabfalldeponien gemäß Anlage 1, Tabellen 5 und 7 der Deponieverordnung	18
Tabelle 3.2: Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Eluat für Reststoff- und Massenabfalldeponien gemäß Anlage 1, Tabellen 6 und 8 der DVO in mg/kg TS mit Ausnahme von pH-Wert und Leitfähigkeit	20
Tabelle 3.3: Gestaffelte Altlastenbeiträge für die Ablagerung auf Deponien gemäß DVO (Neuanlagen und angepaßte Altdeponien) in ATS/Mg	23
Tabelle 3.4: Charakterisierung des Endproduktes aus der MBR und dessen Deponieverhalten nach eigenen Untersuchungen und [29, 31, 33]	31
Tabelle 4.1: Beispiele abgeschlossener und laufender Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich	36
Tabelle 4.2: Beispiele abgeschlossener und laufender Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich	37
Tabelle 4.3: Beispiele abgeschlossener und laufender Untersuchungen auf dem Gebiet der MBR in Österreich	38
Tabelle 4.4: Verarbeitete Restabfälle bezogen auf das Jahr 1995 (Ausnahme: Allerheiligen 1996) in Mg	39
Tabelle 4.5: Mechanische Behandlungsschritte in den österreichischen MBRA	41
Tabelle 4.6: Biologische Behandlungsschritte in den österreichischen MBRA	43
Inhalt der Tabellen	Seite
Tabelle 4.7: Verwertungs- und Entsorgungswege für die festen Reststoffe aus	

den MBRA in Österreich	46
Tabelle 4.8: Anorganische Schadstoffgesamtgehalte im Rottegut der MBRA und Grenzwerte der Deponieverordnung	48
Tabelle 4.9: Organische Schadstoffgesamtgehalte im Rottegut der MBRA und Grenzwerte der Deponieverordnung.....	48
Tabelle 4.10: Schadstoffgehalte im Eluat für das Rottegut der MBRA und Grenzwerte der Deponieverordnung	49
Tabelle 4.11: Maßnahmen zur Minimierung von gasförmigen Emissionen in den österreichischen MBRA	52
Tabelle 5.1: Abfallaufkommen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen im Mürzverband für das Jahr 1996 [nach 59]	59
Tabelle 6.1: Hauptstoffgruppen und Sortierfraktionen für die Restmüllsortierungen.....	67
Tabelle 6.2: Übersicht über die ausgewerteten Restmüllmengen mit den zugehörigen Einwohnern und Haushalten.....	70
Tabelle 6.3: Gegenüberstellung der durchschnittlichen Restmüllzusammensetzung für die 4 Jahreszeiten (Angaben in Massenprozent)	76
Tabelle 6.4: Restmüllzusammensetzung des Mürzverbandes im Jahresdurchschnitt	78
Tabelle 6.5: Das Abfallaufkommen im Mürzverband unter Einbeziehung der getrennt erfaßten Altstoffe und deren Erfassungsquote	79
Tabelle 6.6: Mittelwerte der Untersuchungen des oberen Heizwertes für die ausgesuchten Fraktionen der einzelnen Sortieranalysen	83
Tabelle 6.7: Statistische Parameter der Untersuchungen zum H_o für die 75 Feinmüllproben der einzelnen Container	83
Tabelle 6.8: Gesamtschadstoffgehalte in der Feinmüllfraktion (< 10 mm)	84
Tabelle 6.9: Schadstoffgehalte im Eluat der Feinmüllfraktion (< 10 mm)	84
Tabelle 6.10: TS, GV, TOC und H_o der Sortierfraktionen als Jahresmittelwerte	85
Tabelle 6.11: Trockensubstanz und Glühverlust-Frachten der Abfallgruppen.....	88
Tabelle 6.12: TOC- und H_o -Frachten der Abfallgruppen	88
Tabelle 7.13: Ergebnisse der Untersuchungen von Klärschlämmen aus den ARA des Mürzverbandes (16 Proben) und der ARA Bruck an der Mur (3 Proben) (Angaben in mg/kg TS außer TS, WG, pH-Wert und H_o).....	94
Tabelle 8.1: Durchschnittliche Zusammensetzung des Inputs der MBRA Allerheiligen im Jahr 1996	96
Tabelle 8.2: Trockensubstanz und Glühverlust-Frachten der biologisch abbaubaren Restmüllfraktionen	102
Tabelle 8.3: TOC- und H_o -Frachten der biologisch abbaubaren Restmüllfraktionen.....	104

Inhalt der Tabellen..... Seite

Tabelle 8.4: Berechnete H_o -Werte für das Rottegut der MBRA Allerheiligen nach der Abtrennung heizwertreicher, biologisch nicht abbaubarer	
---	--

Materialien für unterschiedliche Wirkungsgrade	110
Tabelle 9.1: Spannweite für die Einzelbestimmungen der Parameter Glühverlust, TOC und H_o für das Rottegut nach 22 Wochen mit den Körnungen 0-12 und 12-24 mm am Beispiel von 2 "durchschnittlichen" Proben.....	118
Tabelle 9.2: Obere Heizwerte der einzelnen Chargen der Varianten 1 bis 4 zu Rottebeginn und nach der Absiebung nach 22 Wochen Rotte für die einzelnen Siebfractionen in [kJ/kg TS].....	126
Tabelle 9.3: Schadstoffgesamtgehalte der Rottechargen 2, 9 und 12 zu Beginn der Rotte und nach 22 Wochen Rottezeit.....	129
Tabelle 9.4: Schadstoffgehalte im Eluat der Rottechargen 2, 9 und 12 zu Beginn der Rotte und nach 22 Wochen Rottezeit.....	130
Tabelle 9.5: Ergebnisse der Analysen zur Atmungsaktivität (AT_4) des Rotteendproduktes in Allerheiligen nach 22 Wochen Rotte	131
Tabelle 9.6: Ergebnisse der Verwiegung des Rotteendproduktes nach Absiebung bei 12 und 24 mm (Rottezeit 22 Wochen, Varianten 3 und 4).....	133
Tabelle 9.7: Ergebnisse der Verwiegung des Rottezwischen- und -endproduktes nach Absiebung bei 12 und 24 mm (Rottezeit 6 und 22 Wo., Varianten 1 und 2).....	135
Tabelle 9.8: Ergebnisse der Laborabsiebung und H_o -Bestimmung für die Fraktion 12-24 mm der Chargen 2 und 6 (Variante 4).....	138
Tabelle 10.1: Statistische Angaben zu den Ergebnissen der Untersuchungen zum oberen Heizwert für den Input der MBRA Allerheiligen.....	148
Tabelle 10.2: Quotienten aus oberem Heizwert und Glühverlust für den Input der MBRA Allerheiligen.....	149

13.4 Abkürzungen

a	Jahr
Abb.	Abbildung
ADRS	Abdampfrückstand
AEV	Abwasseremissionsverordnung
AGR	Austria Glas Recycling GmbH
AlsaG	Altlastensanierungsgesetz
AOX	absorbierbare organische Halogene
ARA	Abwasserreinigungsanlage(n) oder Altstoff Recycling Austria AG
ARGEV	Arbeitsgemeinschaft Verpackungsverwertungs GmbH
ARO	Altpapier Recycling Organisations GmbH
ASZ	Alt- und Problemstoffsammelzentrum
AT_x	Atmungsaktivität in x Tagen
ATS	österreichischer Schilling
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
AWW	Abfallwirtschaftsverband

BAnz.	Bundesanzeiger (Deutschland)
BAS	Biologisches Abbau-System
BAWP	Bundes-Abfallwirtschaftsplan
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BMA	biologisch-mechanische Restabfallbehandlung
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie (Deutschland)
BMU	Bundesministerium für Umwelt
BMUJF	Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie
BMUNR	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Deutschland)
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
BRAM	“Brennstoff aus Müll”
BSB ₅	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (in mg O ₂ /l)
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cont.	Container
d	Tag
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
DVO	Deponieverordnung
EGW	Einwohnergleichwert
EOX	extrahierbare organische Halogene
EPS	Expandiertes Polystyrol (Styropor)
etc.	et cetera
EW	Einwohner
EGW ₆₀	Einwohnergleichwert: 60 Gramm BSB ₅ pro Einwohner und Tag
FE	Forschung und Entwicklung
FM	Feuchtmasse
GB _x	Gasbildungspotential nach x Tagen
ggstdl.	gegenständlich
GMBI.	Gemeinsames Ministerialblatt (Deutschland)
GV	Glühverlust
GR	Glührückstand
h	Stunde
HDPE	High Density Polyethylen
HH	Haushalt
H _o	oberer Heizwert, Brennwert, Verbrennungswert
Hrsg.	Herausgeber
H _u	unterer Heizwert
i. a.	im allgemeinen
i. d. F.	in der Fassung
i. d. R.	in der Regel
i. S. v.	im Sinne von
i. V. m.	in Verbindung mit

IED	Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik
incl.	inclusive
k. A.	keine Angaben
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
KS	Klärschlamm
KSVO	Klärschlammverordnung
KW	Kohlenwasserstoffe
l/s	Liter pro Sekunde
LASTAT	Landesamtsdirektion - Referat Statistik
LDPE	Low Density Polyethylen
LGBl.	Landesgesetzblatt
lt.	laut
LW	Landwirtschaft
M-%	Massenprozent
m ³	Kubikmeter
MBR	mechanisch-biologische Restabfallbehandlung
MBRA	mechanisch-biologische Restabfallbehandlungsanlage(n)
MBRS	mechanisch-biologisches Restabfallsplitting
MBRVD	mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Deponierung
MBRVV	mechanisch-biologische Restabfallbehandlung vor der Verbrennung
Mg	Megagramm = 10 ⁶ Gramm = Tonne
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
m _{sp}	einwohnerspezifisches Abfallaufkommen (in kg/EW×a)
MUL	Montanuniversität Leoben
MVA	Müllverbrennungsanlage
n. b.	nicht bestimmt
NDIR	Nicht-dispersive Infrarot-Spektrometrie
Nö.	Niederösterreich
Nr.	Nummer
o. g.	oben genannt
o. S.	organische Substanz
ÖN	Österreichische Norm (ÖNORM)
Oö.	Oberösterreich
ÖROK	Österreichische Raumordnungskonferenz
ÖSTAT	Österreichisches Statistisches Zentralamt
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
p. a.	pro anno (pro Jahr)
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat

POX	(purgable) ausblasbare organische Halogene
PS	Polystyrol
SNr.	Schlüsselnummer
sog.	sogenannt
StAWG	Steiermärkisches Abfallwirtschaftsgesetz
StAWiKo	Steiermärkisches Abfallwirtschaftskonzept
TA	Technische Anleitung (Deutschland)
Tab.	Tabelle
TASi	Technische Anleitung Siedlungsabfall (Deutschland)
TM bzw. TS	Trockenmasse bzw. Trockensubstanz
TOC	total organic carbon (gesamter organisch gebundener Kohlenstoff)
TU	Technische Universität
UBA	Umweltbundesamt
v. a.	vor allem
VO	Verordnung
VZ	Volkszählung
WG	Wassergehalt
Wo.	Woche
WRG	Wasserrechtsgesetz
Z.	Ziffer
z. B.	zum Beispiel

Inhaltsverzeichnis zum Anhang

- Anhang A** Aufstellung der Restabfallarten, die gemäß Genehmigungsbescheid in der größten österreichischen MBRA in Salzburg Siggerwiesen verarbeitet werden dürfen (Kapitel 2.2)
- Anhang B** Erläuterung der Probenahme und Probenaufbereitung im Rahmen der Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen und Auflistung der einschlägigen Normen nach denen die Analysen durchgeführt wurden (Kapitel 3.4, 4.6, 6.2, 7.1 und 9.1)
- Anhang C** Anlagenspezifische Daten wie Input, Siebschnitt, Rottedauer und oberen Heizwert für das Rottegut aus Betriebsanlagen zur MBR (Kapitel 4.6.3)
- Anhang D** Fotodokumentation zum Aufbau und Betrieb der MBRA Allerheiligen (Kapitel 5.3)
- Anhang E** Beschreibung der 21 Fraktionen (Stoffgruppen) der Restmüllsortierung (Kapitel 6.1)
- Anhang F** Ergebnisse der Glühverlust- und TOC-Analysen, die im Rahmen der Restmüllsortierungen durchgeführt wurden (Kapitel 6.2)
- Anhang G** Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der durchschnittlichen organischen Fracht für den Restmüll des Mürzverbandes und graphische Darstellung der fraktionsspezifischen Anteile an der gesamten Glühverlust bzw. TOC-Fracht (Kapitel 6.2.3.2)
- Anhang H** Nähr- und Schadstoffgehalte im Klärschlamm der Kläranlagen Langenwang, Wartberg, St. Marein, Kapfenberg (Mürz I bis IV) und Bruck an der Mur (Kapitel 7.2)
- Anhang I** Ergebnisse der Laborabsiebungen des Rottegutes nach 22 Wochen biologischer Behandlung in der MBRA Allerheiligen (Kapitel 9.2.2.2)
- Anhang J** Korrelationen zwischen oberem Heizwert und TOC für Restmüll (bzw. Restmüllfraktionen), Klärschlamm sowie unbehandelte und mechanisch-biologisch vorbehandelte Restabfälle (Kapitel 10)

In der größten österreichischen MBRA in Salzburg Siggerwiesen (160.000 Mg/a Gesamtkapazität) werden gemäß Genehmigungsbescheid die in Tabelle A 1 dargestellten Restabfälle behandelt. Bei den angegebenen Abfallarten handelt es sich im wesentlichen um nicht gefährliche Abfälle.

Tabelle A 1: Restabfälle lt. ÖNORM S 2100, die in der MBRA in Salzburg - Siggerwiesen verarbeitet werden

BEZEICHNUNG DER ABFÄLLE	SCHLÜSSELNUMMER LT. ÖNORM S 2100
FESTE ABFÄLLE mit biologisch abbaubaren organischen Anteilen:	
Kommunaler, gewerblicher Restmüll	91101
Rückstände aus der mechanischen Abfallaufbereitung	91103
Biologisch abbaubare Abfälle z.B.:	
überlagerte Lebensmittel	11102
Pflanzenfasern, Wollreste	58106
überlagerte Genußmittel	11401
Filter- und Aufsaugmassen	31434
Rückstände aus der Papiergewinnung	18401
Mineralölkontaminierte Böden	31423
Rechengut aus der Kläranlage	94701
PASTÖSE ABFÄLLE mit biologisch abbaubaren organischen Anteilen	
Klärschlamm, anaerob stabilisiert, 25 % TS	94501
Sandfanginhalte	94704
Fett- und Ölabscheiderinhalte	94705
Kanalräumgut	94702
Fäkalien, kontaminiert	95101
Rückstände aus der Gewässerreinigung	94901
Schlamm aus Gießereien	31616
Schlamm aus Brauereien	11411
Schlamm aus der Speiseölproduktion	12703
FLÜSSIGE ABFÄLLE , nicht für die Verarbeitung in einer ARA geeignet	
organisch belastete Spül- und Waschwässer	11421
Leim- und Klebemittelabfälle	55905
Wassergemische ohne halogenierte Lösemittel	55374
flüssige Tenside als Überstände aus CPA - und CPO - Anlagen	59402

In Tabelle B1 sind die Analysenvorschriften zusammengestellt nach denen die Untersuchungen zur Beurteilung des Rottegutes aus den österreichischen Betriebsanlagen zur MBR (Kapitel 4), der Zusammensetzung von Restmüll (Kapitel 6) und Klärschlamm (Kapitel 7) sowie im Rahmen der großtechnischen Rotteversuche (Kapitel 9) durchgeführt worden sind. Die spezifische Art von Probenahme und Probenaufbereitung ist bereits in den jeweiligen Kapiteln (Ausnahme Rotteversuche) beschrieben worden. Für die Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit der MBRA Allerheiligen wurde eine aufwendige Probenahme durchgeführt, um eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse zu gewährleisten. Die Art der Probenahme wird hier kurz erläutert. Außerdem wird auf die Probenaufbereitung für die Bestimmung des oberen Heizwertes und der Atmungsaktivität eingegangen.

Intensivrottetunnel:

Der Input der Intensivrottemodule besteht aus Restmüll < 80 mm und entwässertem Klärschlamm. Diese Fraktionen werden in einem Mischzerkleinerer homogenisiert und gelangen über ein Förderband in den Tunnel. Die Befüllung eines Rottetunnels mit durchschnittlich 170 m³ dauert etwa 2 Stunden. In dieser Zeit wurden von dem Förderband in gleichmäßigen Zeitabständen 80 bis 100 Stichproben mit einem durchschnittlichen Gewicht von ca. 2 kg gezogen. Diese Stichproben aus jeweils 30 Minuten Probenahmezeit wurden zu Kegeln aufgeschüttet, so daß nach der Befüllung der Rottetunnel 4 Sammelproben je 40 bis 50 kg vorlagen. Diese wurden mittels Mischkreuzverfahren gemäß ÖNORM S 2023 eingeengt, zu einer Sammelprobe vereinigt und nochmals eingeengt bis etwa 10 kg Probenmaterial übrig blieben. Die Sammelprobe wurde anschließend zum umweltanalytischen Labor des IED transportiert und dort die Probenaufbereitung und Analytik durchgeführt.

Nach der Intensivrotte wird das Rottegut, das auf einem Polyethylen-Schleppnetz aufliegt, aus den Rottetunneln mit Hilfe einer Seilwinde herausgezogen. Das Rottegut wird in der Folge mit Förderbändern zum Mischzerkleinerer transportiert und sollte dort aufgelockert werden. Nach Passieren des Mischzerkleinerers wird das Rottegut über das schon im letzten Absatz genannte Förderband zur Rotteplatte (Extensivrotte) befördert. Die Probenahme für den Output der Intensivrottemodule erfolgte von diesem Förderband nach dem oben beschriebenen Prinzip.

Extensivrotte:

Der Materialoutput aus der Intensivrotte entspricht dem Input der Extensivrotte.

Nach 4-wöchiger statischer, saugbelüfteter Mietenrotte wurde das Rottegut mittels Radlader zur Nachreifefläche befördert. Während des Abräumens der Miete wurden ca. 50 Stichproben je ca. 5 kg pro Tunnelcharge aus unterschiedlichen Höhen gezogen und

mittels Mischkreuzverfahren auf ca. 10 kg eingeeengt, die für die weiteren Untersuchungen am IED herangezogen wurden.

Fertigrotte:

Für die nicht abgesiebten Versuchsmieten entspricht der Output aus der Extensivrotte dem Input der Fertigrotte.

Für 3 Versuchsmieten wurde abgesiebtes Rottegut (< 24 mm) verwendet. Hier wurden im Verlauf des Absiebens sowohl vom Siebdurchgang als auch vom Siebüberlauf jeweils 20 Stichproben je 4 bis 5 kg gezogen und zu Sammelproben < 24 mm bzw. > 24 mm vereinigt. Die beiden Sammelproben wurden mittels Mischkreuzverfahren auf ca. 10 kg eingeeengt.

Nach 8 Wochen wurde von jeder Versuchsmiete eine weitere Sammelprobe gezogen. Bei den Mieten, die umgesetzt worden sind, ist die Probenahme während des Umsetzens erfolgt. Dabei wurden jeweils 20 Stichproben zu je ca. 5 kg aus unterschiedlichen Höhen der Miete entnommen und mittels Mischkreuzverfahren auf ca. 10 kg eingeeengt.

Schwieriger war die repräsentative Probenahme bei den Versuchsmieten, die nicht umgesetzt wurden. Hier wurden die Mieten durch den Radlader „angerissen“ und aus der freigelegten Fläche jeweils ca. 10 Stichproben zu je ca. 5 kg aus unterschiedlichen Höhen der Miete gezogen: Anschließend wurde das Material mittels Mischkreuzverfahren auf ca. 10 kg eingeeengt.

Nach Abschluß der Nachreife wurden 9 Versuchsmieten bei Siebschnitten von 12 und 24 mm abgesiebt. Für die 3 Versuchsmieten, die bereits nach der Extensivrotte bei 24 mm abgesiebt wurden, war nur eine 12 mm Siebung erforderlich. Von den einzelnen Siebfraktionen wurden im Verlauf des Absiebens (wenn genügend Material vorhanden) 10 Stichproben je ca. 4 bis 5 kg gezogen und zu Sammelproben vereinigt.

Die auf diese Weise erhaltenen Sammelproben wurden nach Leoben in das umweltanalytische Labor des IED transportiert und dort für die anschließenden Analysen aufbereitet.

Probenaufbereitung und Bestimmung des oberen Heizwertes:

Nach dem Trocknen der Probe bei 105 °C wurde diese mit der Schneidmühle auf Korngrößen < 10 mm zerkleinert. Vor dem Zerkleinern mußten jedoch Inertstoffe wie Glas, Steine und Metalle ausgelesen werden, da sie bei der nachfolgenden Zerkleinerung zu Schäden an den Aggregaten führen. Aus dem zerkleinerten Gut wurden nach Mischen und

Homogenisieren ca. 200 g für eine weitere Zerkleinerung in der Ultrazentrifugalmühle (UZM) verwendet. Die dabei erreichbaren Korngrößen hängen von dem Siebeinsatz in der Ultrazentrifugalmühle ab und variieren zwischen < 1 mm, < 2 mm und < 4 mm. Trotz der hohen Verschleißanfälligkeit und der Möglichkeit des Schmelzens von Proben mit hohen Kunststoffanteilen wurde für die hier behandelten Proben ein Siebeinsatz mit 1 mm verwendet. Zu bemerken ist hierbei, daß es durch die hohe thermische Belastung der Probe in der UZM durchaus zu einem Abbau der Heizwertfracht kommen kann. Bei einigen Proben tritt beispielsweise eine Verkohlung auf. Da die Proben bei gröberer Mahlung jedoch auch größere Schwankungen in den Analyseergebnissen zeigen wurde trotz des Problems der thermischen Zersetzung auf 1 mm Korngröße zerkleinert. Die zerkleinerte Probe (< 1 mm) wurde schließlich für die nachfolgenden Analysen, außer für Parameter, die aus der Frischsubstanz bestimmt werden, verwendet.

Abweichend von der Norm (DIN 51900) wurden die H_o -Untersuchungen durchgeführt. Das dazu verwendete Gerät der Firma IKA Analysetechnik (C 7000) arbeitet ohne Wasser und wird daher als „doppelttrocken“ bezeichnet, da es weder über Kalorimeterwasser noch über einen wassergekühlten Mantel verfügt. Der Brennwert einer Probe wird aufgrund der (zeitlichen) Temperaturerhöhung der Bombe und deren spezifischer Wärmekapazität berechnet. Der Vorteil dieses Systems ist die verkürzte Meßzeit, die pro Analyse nur etwa 5-10 Minuten beträgt. Von jeder Probe wurde, um die Meßgenauigkeit zu erhöhen, eine Fünffachbestimmung durchgeführt und der Mittelwert gebildet. Ausreißer wurden dabei eliminiert. Abweichend von der Norm wurden auch keine Stickstoff- und Schwefelkorrekturen durchgeführt. Der Stickstoff- und Schwefelgehalt im Restmüll ist nur sehr gering und die dadurch erhaltenen Korrekturen im Bereich von etwa 10-100 kJ rechtfertigen den Aufwand einer Elementaranalyse nicht.

Messung der Atmungsaktivität (AT_4):

Für den Parameter Atmungsaktivität existiert noch keine genormte Analysenvorschrift. Bei der Analyse wurde in Anlehnung an die Vorschlägen der BWK-Arbeitsgruppe Restabfallbehandlung vorgegangen. Die Versuche wurden in einem Sapromat durchgeführt, wobei 50 g frische oder durch Tiefkühlung (-18 °C) konservierte Feuchtsubstanz eingewogen wurde. Die Feuchtsubstanz wird auf einen optimalen Wassergehalt (zwischen 45 und 50 % WG) eingestellt und 4 Tage lang bei 20 °C inkubiert. Die während der Inkubationszeit veratmete Sauerstoffmenge wird auf die eingewogene Trockensubstanz bezogen und als mg O_2 /g TS angegeben.

Tabelle B1: Verwendete Analysenvorschriften



Parameter	Kurzbezeichnung	Norm	Abweichung von der Norm
pH-Wert	pH	DIN 38404-C5	keine
Abdampfrückstand	ADR	DIN 38409-H1	keine
Trockensubstanz	TS	DIN 38414-S2	Einwaage 1 kg
Atmungsaktivität	AT4	Vorschlag BWK	vgl. Text
Ammonium	NH ₄ ⁺	DIN 38406-E5	keine
leicht flüchtige Cyanide	CN ⁻ (lf)	DIN 38405-D13	keine
Fluorid	F ⁻	DIN 38405-D4	keine
Gesamtstickstoff	N-ges.	Ö-NORM M6296	keine
Nitrat	NO ₃ ⁻	DIN 34805-D9	keine
Nitrit	NO ₂ ⁻	DIN 34805-D10	keine
Phosphat	(PO ₄) ³⁻	DIN 34805-D11	keine
Sulfat	(SO ₄) ³⁻	DIN 34805-D5	keine
Arsen	As	DIN 38405-D18	keine
Barium	Ba	DIN 38406-E22	keine
Blei	Pb	DIN 38406-E6	keine
Kalzium	Ca	DIN 38406-E3	keine
Cadmium	Cd	DIN 38406-E19	keine
Chrom	Cr	DIN 38406-E22	keine
Kobalt	Co	DIN 38406-E22	keine
Eisen	Fe	DIN 38406-E22	keine
Kalium	K	DIN 38406-E-13	keine
Kupfer	Cu	DIN 38406-E22	keine
Magnesium	Mg	DIN 38406-E-3	keine
Mangan	Mn	DIN 38406-E22	keine
Molybdän	Mo	DIN 38406-E-22	keine
Natrium	Na	DIN 38406-E14	keine
Nickel	Ni	DIN 38406-E22	keine
Quecksilber	Hg	DIN 38406-E12	keine
Silber	Ag	DIN 38406-E22	keine
Zink	Zn	DIN 38406-E22	keine
Chrom VI	Cr VI	DIN 38405-D24	keine
Glühverlust	GV	DIN 38414-S3	3-fach Bestimmung mit ca. 20g
gesamter org. Kohlenstoff	TOC	DIN 38409-H3	keine
Oberer Heizwert	H _o	DIN 51900	"doppelt-trocken"
Summe Kohlenwasserstoffe	Σ KW	DIN 38409-H18	keine
Summe polyzykl. aromat. Kohlenwasserstoffe	Σ PAK	DIN 38409-H13	keine
ausblasbare org. Halogene	POX	DIN 38409-H25	keine
Adsorbierbare org. Halogene	AOX	DIN 38414-S18	keine
Polychlorierte Biphenyle	PCB	DIN 38414-S-20	keine
extrahierbare org. Halogene	EOX	DIN 38409-H8	keine

In Tabellen C1 bis C3 sind Beispiele eigener und die in der Literatur verfügbaren Meßergebnisse für den oberen Heizwert des Rottegutes aus Betriebsanlagen bzw. großtechnischen Versuchen zur MBR in Abhängigkeit von Anlageninput, Siebschnitten und Rottedauer zusammengestellt.

Tabelle C1: Obere Heizwerte des Rottegutes aus der MBR

MBRA	Land	Input (Jahr)	Fraktion [mm]	Rottezeit [Wo.]	Ho [kJ/kg TS]	Quelle
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 80	0	12.500	IED
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 80	0	15.900	IED
Kufstein	A-T	RA (98)	< 50	0	14.700	IED
Kufstein	A-T	SR+KS (97)	gesamt	0	13.500	[51]
Lavant	A-T	SR+KS (97)	gesamt	0	10.500	[51]
Liezen	A-ST	RA (97)	< 50	0	10.800	[48]
Ludwigsburg	D	RA (91)	< 100	0	10.900	[50]
Ludwigsburg	D	RA+KS (91)	< 100	0	11.700	[50]
Ludwigsburg	D	RA (91)	gesamt	0	13.700	[50]
Oberland	A-V	RA+SR (96)	< 70	0	13.700	[41]
Pöchlarn	A-NÖ	RA (93)	< 35	0	7.700	[38]
Pöchlarn	A-NÖ	RA (93)	< 70	0	7.400	[38]
Pöchlarn	A-NÖ	RA+KS (93)	< 35	0	8.100	[38]
Pöchlarn	A-NÖ	RA+KS (93)	< 70	0	7.100	[38]
Siggerwiesen	A-S	RA+KS+SR (96)	gesamt	0	13.700	IED
Unterland	A-V	RA+SR (96)	< 70	0	12.000	[41]
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 80	2	10.900	IED
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 80	2	12.200	IED
Düren-Horm	D	RA+KS+SR	< 24	2	6.800	[52]
Kufstein	A-T	RA (98)	< 50	2	11.100	IED
Siggerwiesen	A-S	RA+KS+SR (97)	gesamt	3	12.900	[29]
Kirchdorf	A-OÖ	RA (96)	< 50	4	5.800	IED
Roppen	A-T	RA+KS (96)	< 35	4	13.900	IED
Schaffhausen	CH	RA+KS+SR (96)	< 40	4	11.000	IED
Siggerwiesen	A-S	RA+KS+SR (96)	gesamt	4	12.600	IED
Siggerwiesen	A-S	RA+KS+SR (96)	< 20	4	9.600	IED
Allerheiligen	A-St	RA+KS (96)	< 80	5	7.200	[29]

RA = Restabfall; KS = Klärschlamm; SR = sonstige Restabfälle

Tabelle C2: Obere Heizwerte des Rottegutes aus der MBR

MBRA	Land	Input (Jahr)	Fraktion [mm]	Rottezeit [Wo.]	Ho [kJ/kg TS]	Quelle
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 24	6	7.200	IED
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 24	6	8.300	IED
Fischamend	A-NÖ	RA+KS (96)	gesamt	6	12.700	IED
Oberland	A-V	RA+SR (96)	< 70	6	7.100	[41]
Unterland	A-V	RA+SR (96)	< 70	6	7.900	[41]
Kufstein	A-T	RA (96)	< 24	7	3.000	IED
Kufstein	A-T	RA (96)	< 24	7	5.500	IED
Kufstein	A-T	RA (98)	< 24	7	8.600	IED
Pöchlarn	A-NÖ	RA+KS+RS (96)	< 30	7	10.900	IED
Siggerwiesen	A-S	RA+KS+SR (96)	gesamt	7	11.600	IED
Siggerwiesen	A-S	RA+KS+SR (96)	< 20	7	8.500	IED
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 24	10	7.500	IED
Kufstein	A-T	SR+KS (97)	< 24	10	9.200	[51]
Zell am See	A-S	RA+KS+SR (96)	< 100	10	7.400	[37]
Zell am See	A-S	RA+KS+SR (96)	< 100	10	8.400	[37]
Frojach/Katsch	A-ST	RA+SR (96)	< 25	12	7.400	IED
Liezen	A-ST	RA (97)	< 50	12	6.800	[48]
Zell am See	A-S	RA+KS+SR (97)	< 100	13	8.500	IED
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 12	14	6.600	IED
Lavant	A-T	SR+KS (97)	< 60	14	5.300	[51]
Freistadt	A-OÖ	RA (93)	< 35	15	5.700	[39]
Ludwigsburg	D	RA (91)	< 100	15	6.300	[50]
Ludwigsburg	D	RA+KS (91)	< 100	15	5.800	[50]
Ludwigsburg	D	RA (91)	gesamt	15	10.300	[50]
Quarzbichl	D	RA+SR (96)	< 40	15	7.200	IED
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	< 12	18	6.800	IED
Aich/Assach	A-ST	RA+KS+SR (96)	< 60	20	6.700	[29]
Oberpullendorf	A-B	RA+KS+SR (96)	<25	20	7.400	IED
Oberpullendorf	A-B	RA+KS+SR (96)	<25	20	6.200	[29]
Liezen	A-ST	RA (97)	< 50	21	5.800	[48]
Allerheiligen	A-ST	RA+KS (97)	<12	22	5.800	IED

RA = Restabfall; KS = Klärschlamm; SR = sonstige Restabfälle

Tabelle C3: Obere Heizwerte des Rottegutes aus der MBR

MBRA	Land	Input (Jahr)	Fraktion	Rottezeit	Ho	Quelle
------	------	--------------	----------	-----------	----	--------



			[mm]	[Wo.]	[kJ/kg TS]	
Frojach/Katsch	A-ST	RA+SR (96)	< 25	26	5.500	IED
Gerling	A-OÖ	RA (96)	< 80	26	9.200	IED
Ort im Innkreis	A-OÖ	RA (96)	<10	26	10.900	IED
Pöchlarn	A-NÖ	RA+KS (93)	< 35	26	4.700	[38]
Pöchlarn	A-NÖ	RA (93)	< 35	28	4.300	[38]
Pöchlarn	A-NÖ	RA (93)	< 70	29	4.100	[38]
Pöchlarn	A-NÖ	RA+KS (93)	< 70	30	4.200	[38]
Aich/Assach	A-ST	RA+KS+SR (96)	<60	34	6.000	[29]
Frojach/Katsch	A-ST	RA+SR (1995)	<25	52	4.900	IED

RA = Restabfall; KS = Klärschlamm; SR = sonstige Restabfälle



Abbildung D1: Anlieferungsbereich: Verwiegung und Erfassung der sonstigen spezifischen Abfalldaten



Abbildung D2: Tore des Müllbunkers und Ansicht der gekapselten Halle, in der die gesamte mechnsich-biologische Restabfallbehandlung durchgeführt wird

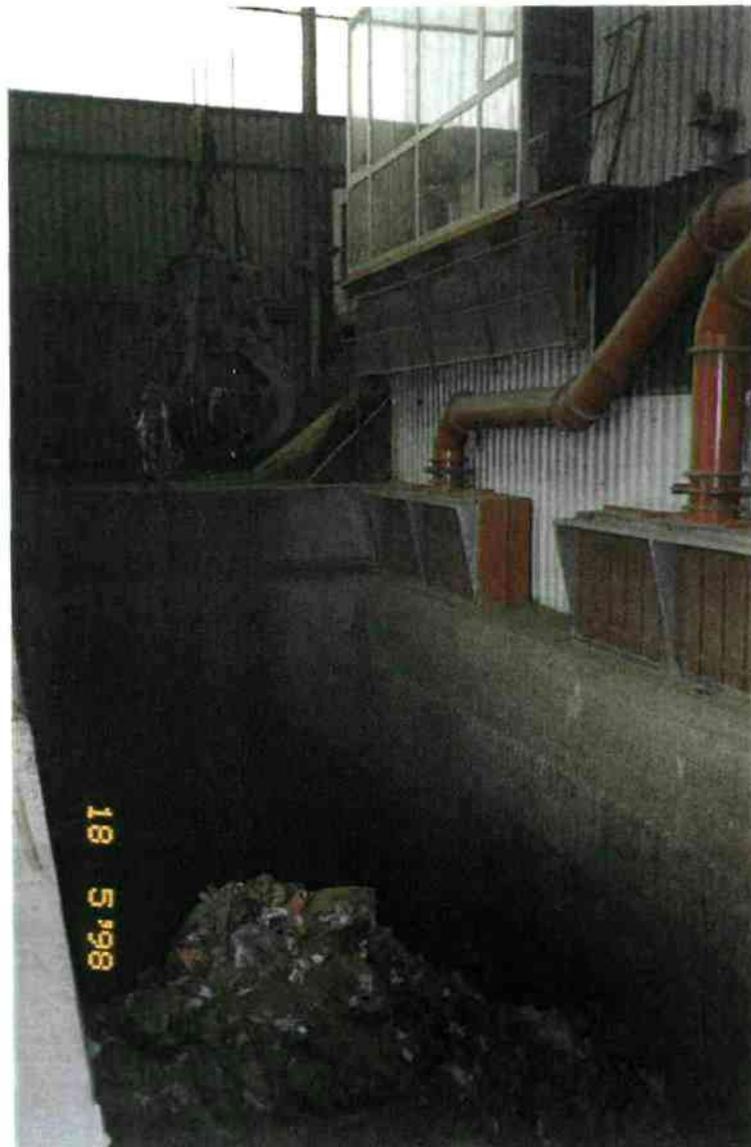


Abbildung D3: geschlossen ausgeführter Müllbunker mit Ablufferfassung und -reinigung sowie Greiferanlage zur Aufgabe der Restabfälle in die Hammermühle



Abbildung D4: Abgetrennte Fe-Metalle nach der Zerkleinerung des Restmülls



Abbildung D5: Absiebung des zerkleinerten Restmülls mittels Trommelsieb bei 80 mm



Abbildungen D6 und D7: Aufgabe von Klärschlamm und Restmüll < 80 mm für die Homogenisierung mittels Chargenmischer vor der Intensivrotte



Abbildungen D8 und D9: Frontansicht der 9 Intensivrottemodule und Blick in einen Rottetunnel mit Teleskopbandförderer



Abbildung D10: Bereich der statischen saugbelüfteten 4-wöchigen Extensivrotte



Abbildung D11: 2 aktuelle Versuchsmieten im Bereich der 16-wöchigen Nachreife



Abbildungen D12 und D13: Trommelsieb zur Absiebung von Bioabfallkompost, das im Rahmen der Versuche für die Abtrennung der heizwertreichen Materialien verwendet wurde



Abbildung D14: Ventilatoren zur Sauerstoffversorgung der Intensivrottemodule

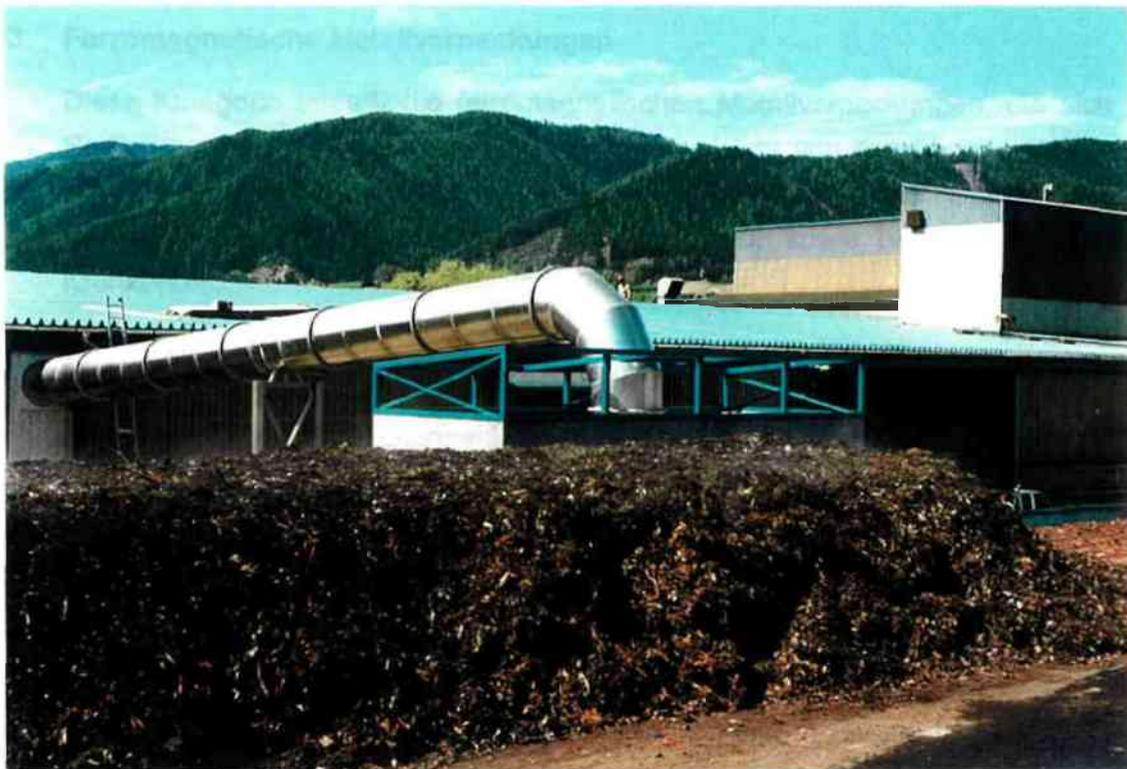


Abbildung D15: Flächenbiofilter zur Reinigung der Abluft aus den Intensivrottemodulen bzw. der Rottehalle

Im folgenden wird der bei den Restmüllsortierungen verwendete Stoffgruppenkatalog für die 21 Fraktionen exemplarisch erläutert:

1. Pappe, Packpapier

Hierunter sind die Materialien zu verstehen, deren Rückführung in die Papier- und Pappeproduktion relativ problemlos ist. Die Trennung der Zellulose von anderen in diesen Papieren enthaltenen Stoffen wie Farbstoffe und Leime ist ohne besonderen technologischen Aufwand möglich. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Kartonagen, Pappschachteln, Waschmittelkartons und -eimer, Wellpappe, Packpapiere, Verpackungspapier und unbedruckte, weiße Papiertapeten (ohne Putz) usw.

2. Druckerzeugnisse

Dieser Gruppe werden überwiegend die bedruckten Papiere zugeordnet. Diese sind schwieriger als Papierrohstoff wiederzuverwerten, da die Druckfarben vor der Papierherstellung herausgewaschen werden müssen. Die Druckerzeugnisse fallen zwar nicht unter die Verpackungsverordnung, werden aber dennoch im Rahmen des ARA¹-Systems durch die ARO² gesammelt. Zu dieser Sortierkategorie zählen Zeitungen, Illustrierte, Kataloge, Schreib- und Büropapier, Briefe, Kuverts (auch mit Adreßfenster), Bücher (ohne Ledereinband), Prospekte und Werbungsbrochüren.

3. Ferromagnetische Metallverpackungen

Diese Kategorie umfaßt die ferromagnetischen Metallverpackungen, die sich bei der Sortierung durch Kontrolle mit einem Magneten leicht von den übrigen Metallen unterscheiden lassen. Insbesondere sind dies Konserven- und Getränkedosen aus Weißblech, Speiseöldosen, Farben - und Lackdosen sowie Twist-Off-Verschlüsse und Kronkorken.

4. Nichtferromagnetische Metallverpackungen

Alle metallischen Verpackungen, die nicht von der Fraktion Nr. 3 erfaßt werden, fallen in diese Stoffgruppe. Es handelt sich dabei vor allem um Aluminiumdosen, z. B. Spraydosen (entleert), Hunde- und Katzenfutterdosen, sowie Metalltuben, Deckelfolien (z. B. von Joghurtbechern) und Aluminium-Verpackungsfolien. Auch Getränkedosen können zu dieser Kategorie gehören; im Zweifelsfall ist die Zuordnung mittels Magneten zu treffen.

5. Glasverpackungen

¹ Altstoff Recycling Austria AG

² Altpapier Recycling Organisations GmbH



Hierzu zählen sämtliche Verpackungsgläser wie Flaschen, Konservengläser, Kosmetik- und Arzneimittelgläser sowie andere Hohlglasbehälter. Eine Unterscheidung nach der Glassorte (Weiß- und Buntglas) wird nicht getroffen, wohl aber nach der Form. So gehört aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung keinesfalls Flachglas (wie Spiegel oder Fensterglas) in diese Kategorie, ebensowenig wie Beleuchtungskörper oder Blei- und Kristallglas, da dieses über die Altglassammlung der AGR³ ebenfalls nicht miterfaßt werden sollte.

6. Kunststoffverpackungen

Diese Kategorie umfaßt alle Verpackungen, die aus einer einzigen Kunststoffsorte bestehen. Dabei werden fünf Hauptmaterialien unterschieden [ARA, 1995]:

- HDPE / High Density Polyethylen: Plastikhohlkörper für Haushalts- und Kosmetikartikel, Plastikblumentöpfe, Kanister, Eimer
- LDPE / Low Density Polyethylen: Säcke, Tragetaschen, Folien, Schrumpfhäuben
- PET / Polyethylenterephthalat: Getränkeflaschen, Blisterverpackungen
- PS / Polystyrol: Joghurtbecher
- EPS-Schäume / Expandiertes Polystyrol: „Styropor“-Verpackungen, Formschäume

7. Verbundstoffverpackungen

Um diese aus dem Verbund von mehreren Stoffen (z. B. Papier-Kunststoff-Metall) bestehenden Materialien wiederzuverwerten, ist ein weitaus höherer technologischer Aufwand erforderlich als bei den Kunststoffverpackungen. Sie werden daher getrennt von diesen betrachtet. In der Hauptsache handelt es sich um Getränkeverpackungen mit Papieranteil, z. B. Saft- und Milchkartons (sog. Tetra-Paks), sowie Kekstüten, Tabakbeutel, Zigarettenschachteln, Kaffee- und Teeverpackungen.

8. Ferromagnetische Metalle

Hierunter fallen diejenigen ferromagnetischen Gegenstände, die kein Verpackungsmaterial sind, z. B. (Eisen-)Büroklammern, Nägel und Schrauben, Drahtkleiderbügel, Werkzeuge, Eisenstangen und sonstige Gebrauchsgegenstände aus Weißblech, Stahl oder mit Eisenkern (Töpfe, Messer, gewisse Geldmünzen). Auch Materialverbunde, die aufgrund ihrer starken Magnetisierung vom Überbandmagnetscheider in der mechanischen Stufe der Abfallbehandlungsanlage aussortiert werden würden, gelangen in diese Fraktion, sofern sie keinen Elektronikschrott darstellen.

9. Nichtferromagnetische Metalle

³ Austria Glas Recycling GmbH

Diese Kategorie umfaßt metallische Gebrauchsgüter, die nicht mit dem Magneten aussortiert werden können. Insbesondere sind dies Gegenstände aus Aluminium, Edelstahl und Kupfer sowie aus anderen para- oder diamagnetischen Metallen, z. B. Fahrrad- und Pkw-Felgen aus Aluminium, Edelstahlbestecke und -töpfe, Modeschmuck, Kupferdraht und Rohrleitungsabschnitte aus Kupfer oder Edelstahl.

10. (Flach-) Glas

Darunter werden sämtliche Glasgegenstände, die nicht zu den Verpackungen zählen, erfaßt. In der Regel ist dies Flachglas, und zwar Bruchstücke von Fensterscheiben, Spiegel und Drahtglas. Auch Glashohlkörper aus Blei- oder Kristallglas oder gläserne Lampenschirme u. ä. werden aufgrund ihrer unterschiedlichen Glaszusammensetzung dieser Kategorie zugeordnet.

11. Sonstiger Kunststoff

Hierzu zählen diejenigen Gebrauchsgüter, die, analog zu den Kunststoffverpackungen, aus einem (Kunststoff-)Material bestehen, z. B. Plastikplanen (als Nicht-Verpackung), Klarsichthüllen, Spielzeug (Legosteine, Plastikautos), Badelatschen, Klodeckel, PVC-Bodenbeläge und Installationsrohre.

12. Materialverbund

Dieser Kategorie gehören langlebige Gebrauchsgegenstände an, die aus verschiedenen Materialien (Kunststoff-Glas-Holz-Metall-Papier) zusammengesetzt sind. Darunter fällt beispielsweise der gesamte Elektronikschrott (Radios, Bügeleisen, Walkmen etc.), aber auch Fotos und Postkarten, Zahnbürsten, Kugelschreiber, Glühbirnen, Regenschirme, Spielzeug, aufgeschäumte Tapeten, Fensterrahmen und Dachpappe.

13. Organik-Küche

Die Hauptstoffgruppe der biogenen Abfälle ist in zwei Fraktionen unterteilt, die sich nach dem Entstehungsort des Abfalls richten. Zur Organik-Küche-Fraktion zählen diejenigen Abfälle, die in Haushalten ohne eigenen Garten anfallen, z. B. Speisereste, Abfälle aus der Nahrungsmittelzubereitung (Salatblätter, Kartoffelschalen, Knochen), Obst in haushaltsüblichen Mengen, unverbrauchte Konserven, Kaffeesatz, (gekaufte) Blumensträuße und Zimmerpflanzen.

14. Organik-Garten

Hierunter fallen vegetabile Abfälle, die ausschließlich in Haushalten mit Garten entstehen, wie Rasenschnitt, Laub, Äste und Strauchschnitt, Blumenzwiebeln, Kartoffelkraut incl. Erdboden und größere Mengen an verfaultem Obst zur Erntezeit. Auch Tierkadaver –

Mäuse, Singvögel – werden dieser Kategorie zugeordnet, wohingegen ein toter Wellensittich als Haustier zur Fraktion Nr. 13 gehört.

15. Textilien/Bekleidung

Diese Fraktion umfaßt sämtliche textilartig verarbeiteten Materialien, also Bekleidung (auch aus Synthetik und Mischgewebe), Textilstoffe, Gardinen, Wollreste, reine Woll- oder Baumwollteppiche, Woll- und Polyesterdecken. Ebenso fallen Schuhe, Gürtel und Taschen darunter, sofern sie nicht aus Leder (Fraktion 17) oder aus reinem Kunststoff (z. B. Badelatschen, Fraktion 11), sondern aus textilem Stoff hergestellt sind.

16. Mineralien

Hierzu gehören inerte Bestandteile des Abfalls wie Steine, Ziegel, Bauschutt, Porzellan, Keramik oder Gipsgegenstände, die praktisch nicht wiederverwertbar sind, da sie weder aus Glas oder Metall sind noch verbrannt oder kompostiert werden können.

17. Holz/Gummi/Leder

Es handelt sich hierbei um eine Mischfraktion von Materialien, die zwar zum Glühverlust und Brennwert erheblich beitragen, jedoch innerhalb der aeroben Restmüllbehandlung nur zum geringen Teil bzw. überhaupt nicht biologisch abbaubar sind. Hauptsächlich sind dies Schuhe (Lederschuhe, Turnschuhe), Ledertaschen und -gürtel, Holz- und Korkprodukte, Holzkohle, Kerzenwachs, Latexhandschuhe, Kondome und Wärmflaschen. Vom Material her unterscheiden sie sich von den „Sonstigen Kunststoffen“ (Fraktion 11) dadurch, daß es keine Mineralölprodukte sind, womit eine gemeinsame etwaige stoffliche Verwertung entfällt.

18. Windeln/Hygieneartikel

In diese Stoffgruppe fallen Hygieneartikel aller Art, insbesondere Wegwerfwindeln für Babys und Inkontinente, Damenbinden, Bettauflagen aus Papier, benutzte Papiertaschentücher und Haushaltspapier, Wattebäusche und Ohrstäbchen.

19. Problemstoffe

Zu den Problemstoffen bzw. gefährlichen Abfällen zählen alle Materialien, die erkennbar zur Schadstoffbelastung der häuslichen Abfälle beitragen und in den einschlägigen gesetzlichen Regelwerken aufgeführt sind. Darunter fallen beispielsweise Batterien, Altmedikamente, Einwegspritzen, lösemittelhaltige Substanzen (Kleber, nicht-eingetrocknete Farben und Lacke), FCKW-haltige Produkte, Mineralöl und ölver-

schmutzte Gegenstände (Kanister, Putzlappen), Quecksilberthermometer, Leuchtstoffröhren, Fotochemikalien, Düngemittel, Pestizide und sonstige umweltbeeinträchtigende Chemikalien. Auch gefüllte Spraydosen und Speisefette gehören nach dem österreichischem Abfallrecht zu den Problemabfällen.

20. Feinmüll (< 10 mm)

Zu dieser Fraktion gehört das gesamte Material, das während des Sortiervorganges durch das 10-mm-Lochblech des Siebtisches fällt. Während der Heizperiode ist der Feinmüll gekennzeichnet durch Hausbrandasche; daneben fallen Katzenstreu, Blumen- und Gartenerde, Teeblätter, Kaffeesatz und der Inhalt von Staubsaugerbeuteln an. Auch Zigarettenstummel, Wattestäbchen, Nägel und Büroklammern sowie Bauschutt können dazuzählen, sofern die Teilchen das Sieb passieren.

21. Restfraktion

Hierunter ist der auf dem Siebtisch verbleibende Rest zu verstehen, der nicht weiter ohne unverhältnismäßig hohem Aufwand zu sortieren ist. Es handelt sich dabei um ein Gemisch aus Zigarettenstummeln, Haaren, Straßenkehricht, kleinen Steinchen, Lebensmittel- und Gartenabfällen, Papierschnitzeln, kleinen Plastikteilchen und Glasscherben etc. Diese Restfraktion ist von Sammelprobe zu Sammelprobe unterschiedlich in Menge und Zusammensetzung; sie hängt stark von der Zusammensetzung und dem Feuchtigkeitsgehalt des jeweiligen Containers ab. Bei der Sortierung wurde darauf geachtet, daß sich der Anteil dieser Kategorie stets im unteren Prozentbereich (max. 6 %) bewegte.

Als Ergänzung zu Kapitel 6.2.2 sind hier die Ergebnisse der Analysen zum Glühverlust und TOC zusammengestellt, die im Rahmen der Restmüllsortierungen durchgeführt wurden.

Glühverlust:

Die Ergebnisse der Untersuchungen zum Glühverlust können Tabelle F1 entnommen werden. In der Regel sind jeweils 5 Sammelproben je Jahreszeit und Fraktion untersucht worden, so die spezifischen Jahresmittelwert 20 Analysen zugrunde liegen.

Tabelle F1: Mittelwerte der Glühverlustuntersuchungen für die ausgesuchten Fraktionen der einzelnen Sortierkampagnen

Glühverlust [%TS]						
Fraktion		Sommer	Herbst	Winter	Frühling	arithm. Mittelwert
1	Pappe/Packpapier	83,9	88,0	87,4	87,9	86,8
2	Druckerzeugnisse	84,1	79,5	85,7	79,8	82,3
6	Kunststoffverpackung	89,0	95,4	94,7	95,8	93,7
7	Verbundstoffverp.	83,2	86,2	84,9	85,8	85,0
11	sonst. Kunststoff	n.b.	93,8	94,9	97,1	95,3
13	Organik-Küche	78,1	85,6	88,8	94,1	86,6
14	Organik-Garten	79,4	81,4	89,8	85,9	84,1
15	Textilien/Bekleidung	95,3	95,4	93,9	92,3	94,2
17	Holz/Gummi/Leder	n.b.	93,0	92,8	92,3	92,7
18	Windeln/Hygieneartikel	92,4	93,2	94,4	89,5	92,4
20	Feinfraktion	30,8	24,0	18,5	21,8	23,8
21	Restfraktion	74,1	59,6	75,4	64,4	68,4

Aus Tabelle F1 geht hervor, daß die Glühverluste für die ausgesuchten Fraktionen durchgängig sehr hoch sind und mit Ausnahme von Fein- und Restfraktion meistens über 80 % TS liegen. Die höchsten Glühverlustwerte verzeichnen die beiden Kunststofffraktionen und die Textilien mit jeweils ca. 95 % TS. Ein wesentlich geringer Glühverlust ergibt sich für die Feinmüllfraktion (< 100 mm) mit 18,5 bis 30,8 % TS, wobei der Rückgang im Winter durch den Ofenheizungen im Einzugsgebiet bemerkbar macht. Die stärksten Schwankungen weist die Restfraktion auf. Da diese Fraktion sehr unterschiedlich zusammengesetzt sein kann, ist diese starke Schwankung, die auch bei den Einzelwerten erkennbar ist, durchaus verständlich.

Neben den Sammelproben aus der Sortierung wurden auch sämtliche Feinmüllproben der einzelnen Container auf ihren Glühverlust hin untersucht. Die wichtigsten statistischen Parameter dieser 100 Einzeluntersuchungen sind in Tabelle F2 zusammengefaßt.

Tabelle F2: Statistische Parameter der Glühverlustuntersuchungen für die 100 Feinmüllproben

Glühverlust [%TS]				
	Sommer	Herbst	Winter	Frühling
Arithm. Mittel	28,4	27,0	15,4	21,3
Standardabweichung	11,4	19,0	7,4	11,4
Median	27,3	19,9	13,8	17,8
Minimum	13,6	4,0	4,2	5,7
Maximum	57,4	84,7	34,1	52,9

Wie schon bei den untersuchten Sammelpuben ist auch hier ein deutlicher Rückgang des Glühverlustes im Winter zu verzeichnen. Der in der Deponieverordnung für die Ablagerung von Restabfällen geforderte Grenzwert von 8 Gew.-% kann sogar von einzelnen Proben unterschritten werden (Winter: 2 Proben; Herbst: 1 Probe)

TOC:

Die Ergebnisse der TOC-Untersuchungen können Tabelle F3 entnommen werden. In der Regel sind jeweils 5 Sammelpuben je Jahreszeit und Fraktion untersucht worden, so die spezifischen Jahresmittelwert 20 Analysen zugrunde liegen. Die durchschnittlichen TOC-Gehalte der ausgesuchten Fraktionen liegen zwischen etwa 380 und 810 mg/kg TS, lediglich die Feinfraktion weist niedrigere Werte auf. Die höchsten Werte verzeichnen erneut die beiden Kunststofffraktionen mit jeweils über 600 g/kg TS. Für den Feinmüll sind auch die TOC-Werte im Winter rückläufig.

Neben den Sammelpuben aus der Sortierung wurde der TOC auch für sämtliche Feinmüllproben der einzelnen Container mit Ausnahme der Herbstsortierung (Kapazitätsprobleme) bestimmt. Die wichtigsten statistischen Parameter dieser 75 Einzeluntersuchungen sind in Tabelle F4 zusammengestellt.

Im arithmetischen Mittel sind die TOC-Werte der einzelnen Proben aus der Wintersortierung nur etwa halb so hoch wie die Proben aus der Sommersortierung. Einzelne Proben können den in der Deponieverordnung für die Ablagerung von Restabfällen geforderten Grenzwert von 5 Gew.-% unterschreiten (Winter: 7 Proben; Herbst: 3 Proben). Die Mittelwerte aller Proben ergeben jedoch auch im Winter mit 71,4 g/kg TS eine deutliche Grenzwertüberschreitung.

Tabelle F3: Mittelwerte der TOC-Untersuchungen für die ausgesuchten Fraktionen der einzelnen Sortierkampagnen

TOC [g/kg TS]					
Fraktion	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	arithm. Mittelwert
Pappe/Packpapier	402	407	389	407	401
Druckerzeugnisse	395	390	376	363	381
Kunststoffverpackung	696	744	717	812	743
Verbundstoffverp.	437	515	442	448	461
sonst. Kunststoff	n.b.	658	620	659	646
Organik-Küche	433	475	452	470	458
Organik-Garten	539	438	435	434	462
Textilien/Bekleidung	n.b.	517	470	461	483
Holz/Gummi/Leder	n.b.	522	512	561	532
Windeln/Hygieneartikel	457	404	440	428	432
Feinfraktion	184	198	96	122	150
Restfraktion	n.b.	388	438	398	408

Tabelle F4: Statistische Parameter der TOC-Untersuchungen für die 75 Feinmüllproben

TOC [g/kg TS]				
Kenngroße	Sommer	Herbst	Winter	Frühling
Arithm. Mittel	170	n.b.	71	130
Standardabweichung	79	n.b.	36	67
Median	152	n.b.	60	137
Minimum	54	n.b.	22	22
Maximum	328	n.b.	163	291

Tabelle G1: Beiträge der einzelnen Sortierfraktionen zur Gesamtmasse des an der MBRA Allerheiligen angelieferten kommunalen Restmülls im Jahr 1996

Fraktion		Jahresrestabfallaufkommen				TS
		absolut (feucht)	Anteil an Gesamt- aufkommen	absolut (TS)	Anteil an Gesamt- aufkommen	Analyse / Schätzung
Nr.	Bezeichnung	[Mg/a]	(in M-%)	[Mg TS/a]	(in M-% TS)	[%]
1	Pappe/Packpapier	262,0	2,5%	219,2	2,8%	83,7
2	Druckerzeugnisse	148,9	1,4%	124,8	1,6%	83,8
3	Ferromagn. Metallverp.	113,9	1,1%	108,2	1,4%	95,0
4	Nichtferromagn. Metallverp.	82,2	0,8%	78,1	1,0%	95,0
5	Glas-Verpackungen	229,6	2,2%	218,1	2,8%	95,0
6	Kunststoff-Verpackungen	401,2	3,8%	364,4	4,6%	90,8
7	Verbundstoff-Verpackungen	273,2	2,6%	234,5	3,0%	85,9
8	Ferromagn. Metalle	153,2	1,5%	145,5	1,8%	95,0
9	Nichtferromagn. Metalle	24,9	0,2%	23,6	0,3%	95,0
10	(Flach-) Glas	70,0	0,7%	66,5	0,8%	95,0
11	sonstiger Kunststoff	204,0	1,9%	197,1	2,5%	96,6
12	Materialverbund	283,3	2,7%	240,8	3,0%	85,0
13	Organik-Küche	1.552,9	14,8%	674,9	8,5%	43,5
14	Organik-Garten	255,0	2,4%	125,9	1,6%	49,4
15	Textilien	582,9	5,6%	482,0	6,1%	82,7
16	Mineralien	727,0	6,9%	690,6	8,7%	95,0
17	Holz/Gummi/Leder	367,6	3,5%	324,8	4,1%	88,4
18	Windeln/Hygieneartikel	1.410,0	13,5%	877,0	11,1%	62,2
19	Problemstoffe	47,4	0,5%	45,0	0,6%	95,0
20	Feinfraktion	2.833,4	27,0%	2.360,0	29,8%	83,3
21	Restfraktion	455,3	4,3%	324,1	4,1%	71,2
Σ Gesamt		10.477,6	100,0%	7.925,3	100%	75,6
I Σ org. Substanz-reiche Fraktionen (Nr. 1, 2, 6, 7, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21)						
Σ I (org. Subst.-reiche Fr.)		6.196,1	59,1%	4.189,5	52,9%	67,6
II Σ weitestgehend inerte Fraktionen (Nr. 3, 4, 5, 8, 9, 10, 16, 19)						
Σ II (inerte Fraktionen)		1.448,1	13,8%	1.375,7	17,4%	95,0
III Σ Feinfraktion (Nr. 20)						
Σ III (Feinfraktion)		2.833,4	27,0%	2.360,0	29,8%	83,3

Tabelle G2: Beiträge der einzelnen Sortierfraktionen zur Gesamtfracht an Glühverlust TOC und H_o des kommunalen Restmülls im Jahr 1996

		Rest- abfall	Glühverlust - GV			TOC-Gehalt			Brennwert - H _o		
Fraktion			Anteil an Gesamt- aufkommen	Analysen- ergebnis/ Schätzung	Beitrag zur Gesamt- fracht	Anteil an Gesamt- fracht	Analysen- ergebnis/ Schätzung	Beitrag zur Gesamt- fracht	Anteil an Gesamt- fracht	Analysen- ergebnis/ Schätzung	Beitrag zur Gesamt- fracht
Nr.	Bezeichnung	(in M-% TS)	[% TS]	[% TS]	(in % d. GV)	[g/kg TS]	[g/kg TS]	(in % d. TOC)	[kJ/kg TS]	[kJ/kg TS]	(in % d. H _o)
1	Pappe/Packpapier	2,8%	86,8	2,4%	4,5%	401	11,1	3,7%	15.100	418	3,4%
2	Druckerzeugnisse	1,6%	82,3	1,3%	2,4%	381	6,0	2,0%	14.000	220	1,8%
3	Ferromagn. Metallverp.	1,4%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
4	Nichtferromagn. Metallverp.	1,0%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
5	Glas-Verpackungen	2,8%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
6	Kunststoff-Verpackungen	4,6%	93,7	4,3%	8,0%	743	34,1	11,4%	37.100	1.708	13,8%
7	Verbundstoff-Verpackungen	3,0%	85,0	2,5%	4,7%	461	13,6	4,6%	22.300	660	5,3%
8	Ferromagn. Metalle	1,8%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
9	Nichtferromagn. Metalle	0,3%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
10	(Flach-) Glas	0,8%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
11	sonstiger Kunststoff	2,5%	95,3	2,4%	4,4%	646	16,1	5,4%	34.700	862	6,9%
12	Materialverbund	3,0%	~ 85	2,6%	4,8%	~ 460	14,0	4,7%	~ 22.000	668	5,4%
13	Organik-Küche	8,5%	86,6	7,4%	13,8%	458	39,0	13,1%	19.800	1.683	13,6%
14	Organik-Garten	1,6%	84,1	1,3%	2,5%	431	6,8	2,3%	16.800	267	2,2%
15	Textilien	6,1%	94,2	5,7%	10,7%	483	29,4	9,8%	19.900	1.208	9,7%
16	Mineralien	8,7%	-	0%	0%	-	0	0%	0	0	0%
17	Holz/Gummi/Leder	4,1%	92,7	3,8%	7,1%	532	21,8	7,3%	23.300	956	7,7%
18	Windeln/Hygieneartikel	11,1%	92,4	10,2%	19,1%	432	47,8	16,0%	17.800	1.968	15,9%
19	Problemstoffe	0,6%	-	0%	0%	-	0	0%	0,0	0	0,0%
20	Feinfraktion	29,8%	23,8	6,9%	12,8%	150	42,2	14,1%	3.800	1.133	9,1%
21	Restfraktion	4,1%	68,4	2,8%	5,2%	408	16,7	5,6%	16.000	654	5,3%
Σ Gesamtfracht		100%	-	53,6%	100%	-	298,6	100%	-	12.405	100%



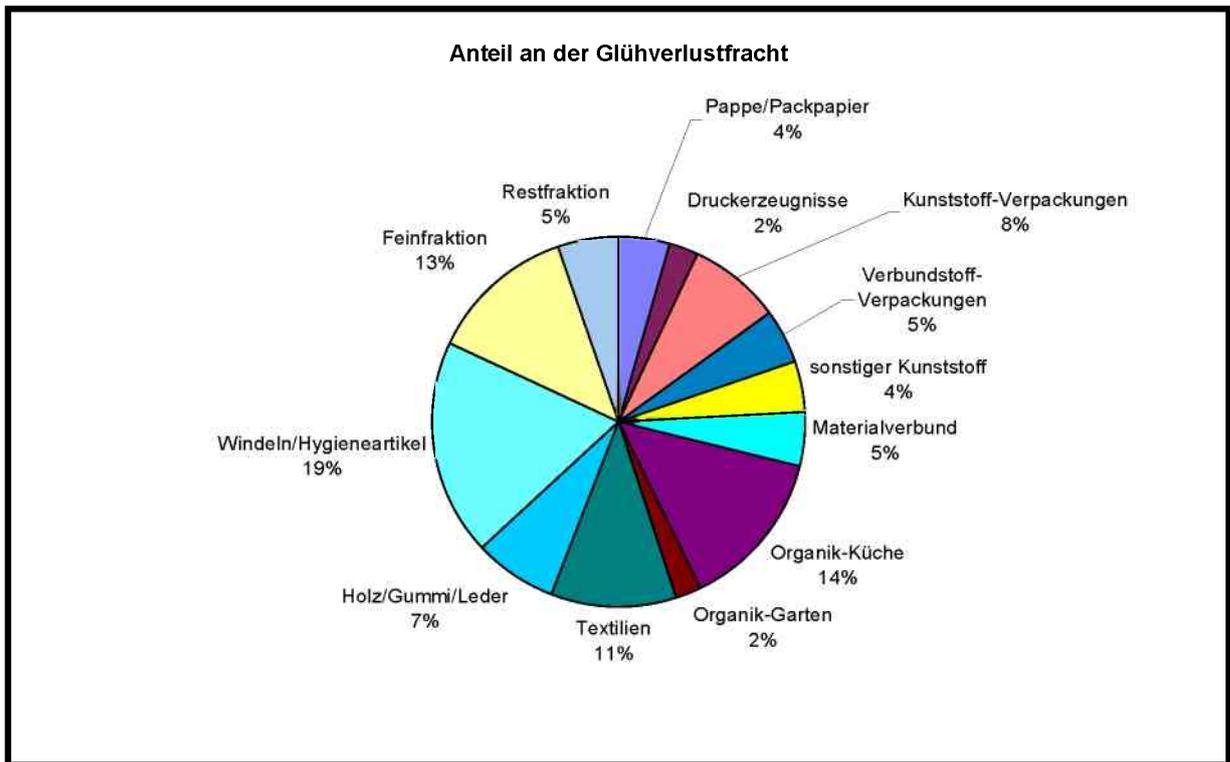


Abbildung G1: Aufteilung der gesamten Glühverlustfracht des Restmülls auf die relevanten Sortierfraktionen

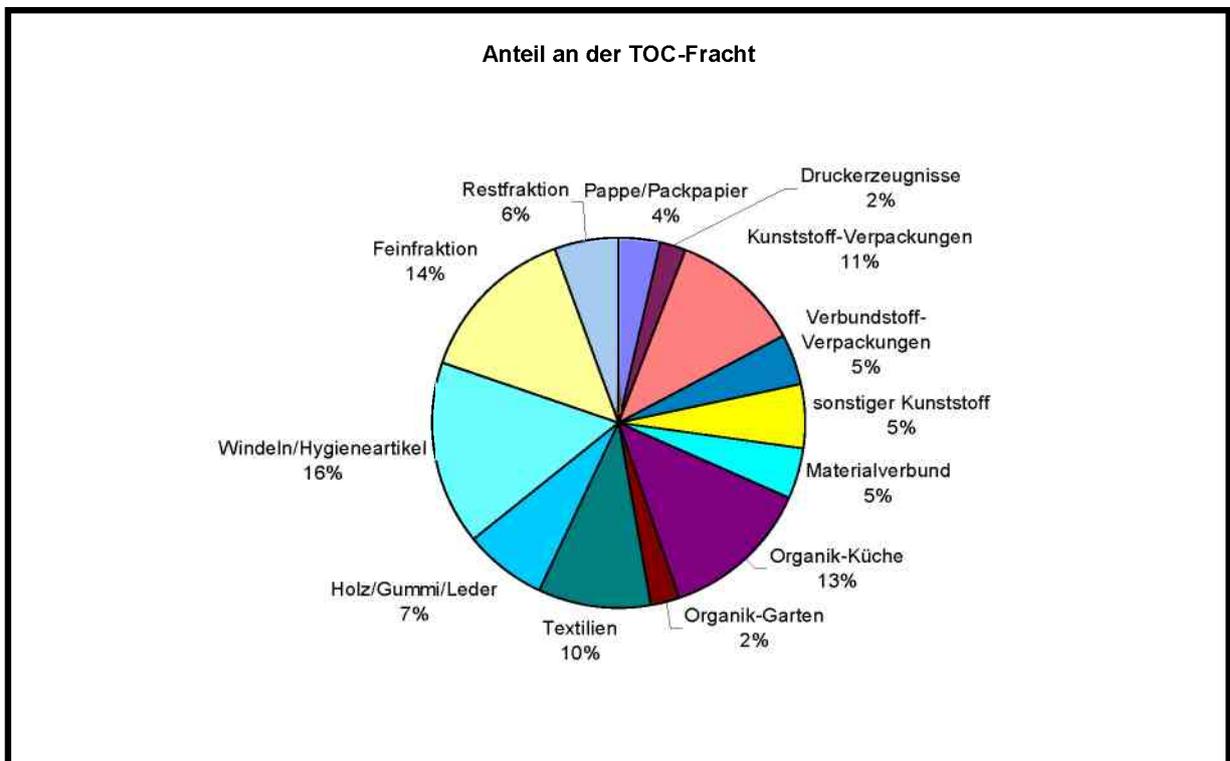


Abbildung G2: Aufteilung der gesamten TOC-Fracht des Restmülls auf die relevanten Sortierfraktionen

Tabelle H1: Nähr- und Schadstoffgehalte im Klärschlamm der ARA Langenwang (Mürz I)

Parameter	Einheiten	Grenzwerte		Datum der Probennahme			
		KSVO	DVO	05.08.96	06.11.96	25.02.97	24.06.97
Trockensubstanz	[%]	-	-	21,7	28,9	21,5	27,9
Wassergehalt	[%]	-	-	78,3	71,1	78,5	72,1
pH-Wert		-	6 - 13	6,6	6,1	6,6	6,3
Glühverlust	[% TS]	-	8	59,5	62,8	73,8	60,5
TOC	[g/kg TS]	-	50	312	346	388	401
oberer Heizwert	[kJ/kg TS]	-	6.000	12.600	14.000	16.500	13.600
Zink	[mg/kg TS]	2.000	5.000	502	522	601	891
Kupfer	[mg/kg TS]	500	5.000	312	174	184	213
Chrom gesamt	[mg/kg TS]	500	5.000	124	67	133	65
Blei	[mg/kg TS]	500	3.000	79	58	173	87
Nickel	[mg/kg TS]	100	2.000	87	54	87	76
Cobalt	[mg/kg TS]	100	500	10	2,7	2,4	8,3
Arsen	[mg/kg TS]	-	500	10	5,0	6,8	12
Molybdän	[mg/kg TS]	20	-	7,3	8,1	9,2	8,4
Cadmium	[mg/kg TS]	10	30	1,4	0,56	0,84	2,6
Quecksilber	[mg/kg TS]	10	20	0,26	7,7	1,6	1,4
Barium	[mg/kg TS]	-	10.000	475	256	208	282
Mangan	[mg/kg TS]	-	-	338	215	201	396
Silber	[mg/kg TS]	-	50	12	n.b.	7,2	8,2
Summe der KW	[mg/kg TS]		20.000	2.500	2.560	3.000	3.120
AOX	[mg/kg TS]	500 ¹⁾	-	40	91	42	70
POX	[mg/kg TS]	-	1.000	0,008	0,002	0,009	0,01
PAK	[mg/kg TS]	-	100	7,6	1,4	3,3	2,0
PCB	[mg/kg TS]	0,2 ¹⁾	-	0,19	0,09	< 0,01	< 0,01
NH ₄ ⁺	[mg/kg TS]	-	-	3.820	6.680	4.780	5.510
NO ₃ ⁻	[mg/kg TS]	-	-	< 1	9,0	< 0,5	< 0,5
Gesamt-N	[mg/kg TS]	-	-	36.970	38.100	50.100	42.100
Gesamt-P	[mg/kg TS]	-	-	28.120	37.500	14.700	16.500
Kalzium	[mg/kg TS]	-	-	33.100	19.220	23.200	24.600
Magnesium	[mg/kg TS]	-	-	13.400	12.050	7.840	13.800
Eisen	[mg/kg TS]	-	-	17.300	13.010	18.800	17.100
Kalium	[mg/kg TS]	-	-	7.750	7.050	5.000	4.440
Natrium	[mg/kg TS]	-	-	3.710	6.330	3.650	9.610

¹⁾ gemäß Steiermärkischer Klärschlammverordnung sind ARA ab 30.000 EGW zur Messung von AOX, PCB und PCDD/PCDF verpflichtet; Grenzwerte sind aber nicht gesetzt worden

n.b. nicht bestimmt

Tabelle H2: Nähr- und Schadstoffgehalte im Klärschlamm der ARA Wartberg (Mürz II)

Parameter	Einheiten	Grenzwerte		Datum der Probennahme			
		KSVO	DVO	05.08.96	06.11.96	11.03.97	24.06.97
Trockensubstanz	[%]	-	-	3,2	22,5	17,3	26,4
Wassergehalt	[%]	-	-	96,8	77,5	82,7	73,6
pH-Wert		-	6 - 13	6,2	6,3	6,5	6,3
Glühverlust	[% TS]	-	8	64,9	64,5	76,4	67,8
TOC	[g/kg TS]	-	50	330	339	384	363
oberer Heizwert	[kJ/kg TS]	-	6.000	15.800	15.100	17.400	16.000
Zink	[mg/kg TS]	2.000	5.000	335	411	672	888
Kupfer	[mg/kg TS]	500	5.000	873	116	162	217
Chrom gesamt	[mg/kg TS]	500	5.000	84	47	96	50
Blei	[mg/kg TS]	500	3.000	55	40	180	105
Nickel	[mg/kg TS]	100	2.000	49	67	53	41
Cobalt	[mg/kg TS]	100	500	15	3,8	3,5	6,4
Arsen	[mg/kg TS]	-	500	5,0	6,0	5,7	9,7
Molybdän	[mg/kg TS]	20	-	3,5	4,2	9,1	9,5
Cadmium	[mg/kg TS]	10	30	1,6	1,5	1,2	3,3
Quecksilber	[mg/kg TS]	10	20	3,0	4,0	< 0,1	0,80
Barium	[mg/kg TS]	-	10.000	478	293	435	288
Mangan	[mg/kg TS]	-	-	184	131	141	278
Silber	[mg/kg TS]	-	50	5,4	n.b.	2,1	2,2
Summe der KW	[mg/kg TS]		20.000	2.890	4.160	3.920	4.130
AOX	[mg/kg TS]	500 ¹⁾	-	37	98	87	52
POX	[mg/kg TS]		1.000	0,004	0,007	0,004	0,005
PAK	[mg/kg TS]	-	100	21	1,4	2,5	2,9
PCB	[mg/kg TS]	0,2 ¹⁾	-	0,18	0,09	< 0,01	< 0,01
NH ₄ ⁺	[mg/kg TS]	-	-	3.280	6.740	7.110	11.800
NO ₃ ⁻	[mg/kg TS]	-	-	< 1	14	< 0,5	< 0,5
Gesamt N	[mg/kg TS]	-	-	47.100	38.100	23.900	38.500
Gesamt P	[mg/kg TS]	-	-	15.400	37.500	13.400	10.500
Kalzium	[mg/kg TS]	-	-	34.700	26.460	28.600	24.100
Magnesium	[mg/kg TS]	-	-	7.230	4.350	4.730	5.610
Eisen	[mg/kg TS]	-	-	5.650	4.100	7.100	12.200
Kalium	[mg/kg TS]	-	-	4.970	6.400	5.940	4.070
Natrium	[mg/kg TS]	-	-	6.450	6.480	5.690	7.550

¹⁾ gemäß Steiermärkischer Klärschlammverordnung sind ARA ab 30.000 EGW zur Messung von AOX, PCB und PCDD/PCDF verpflichtet; Grenzwerte sind aber nicht gesetzt worden

n.b. nicht bestimmt

Tabelle H3: Nähr- und Schadstoffgehalte im Klärschlamm der ARA St. Marein (Mürz III)

Parameter	Einheiten	Grenzwerte		Datum der Probennahme			
		KSVO	DVO	05.08.96	22.10.96	25.02.97	24.06.97
Trockensubstanz	[%]	-	-	3,5	17,2	17,5	24,8
Wassergehalt	[%]	-	-	96,5	82,8	82,5	75,2
pH-Wert		-	6- 13	6,6	6,2	6,6	6,5
Glühverlust	[% TS]	-	8	66,2	66,9	76,1	66,1
TOC	[g/kg TS]	-	50	309	334	399	381
oberer Heizwert	[kJ/kg TS]	-	6.000	14.600	14.200	17.200	14.400
Zink	[mg/kg TS]	2.000	5.000	486	708	699	914
Kupfer	[mg/kg TS]	500	5.000	200	238	225	262
Chrom gesamt	[mg/kg TS]	500	5.000	50	94	64	56
Blei	[mg/kg TS]	500	3.000	54	69	63	91
Nickel	[mg/kg TS]	100	2.000	19	43	33	58
Cobalt	[mg/kg TS]	100	500	6,0	2,8	2,4	7,5
Arsen	[mg/kg TS]	-	500	7,9	7,0	11	12
Molybdän	[mg/kg TS]	20	-	5,6	5,5	8,1	10
Cadmium	[mg/kg TS]	10	30	2,0	1,5	1,6	3,0
Quecksilber	[mg/kg TS]	10	20	1,0	8,0	1,3	1,7
Barium	[mg/kg TS]	-	10.000	285	174	226	261
Mangan	[mg/kg TS]	-	-	201	150	154	326
Silber	[mg/kg TS]	-	50	7,83	n.b.	1,51	5,057
Summe der KW	[mg/kg TS]	-	20.000	3.420	2.800	2.390	2.790
AOX	[mg/kg TS]	500 ¹⁾	-	58	90	88	76
POX	[mg/kg TS]	-	1.000	0,007	0,016	0,011	0,013
PAK	[mg/kg TS]	-	100	3,0	1,2	1,9	2,5
PCB	[mg/kg TS]	0,2 ¹⁾	-	0,19	0,12	< 0,01	< 0,01
NH ₄ ⁺	[mg/kg TS]	-	-	197	6.970	5.230	5.520
NO ₃ ⁻	[mg/kg TS]	-	-	< 1	25	< 0,5	< 0,5
Gesamt N	[mg/kg TS]	-	-	48.170	44.200	18.300	35.600
Gesamt P	[mg/kg TS]	-	-	22.470	54.970	17.500	17.200
Kalzium	[mg/kg TS]	-	-	33.500	20.670	22.400	21.200
Magnesium	[mg/kg TS]	-	-	8.340	9.150	4.440	4.140
Eisen	[mg/kg TS]	-	-	6.710	10.140	15.200	17.400
Kalium	[mg/kg TS]	-	-	6.640	5.660	10.500	3.780
Natrium	[mg/kg TS]	-	-	8.850	7.170	7.650	10.800

¹⁾ gemäß Steiermärkischer Klärschlammverordnung sind ARA ab 30.000 EGW zur Messung von AOX, PCB und PCDD/PCDF verpflichtet; Grenzwerte sind aber nicht gesetzt worden
n.b. nicht bestimmt

Tabelle H4: Nähr- und Schadstoffgehalte im Klärschlamm der ARA Kapfenberg (Mürz IV)

Parameter	Einheiten	Grenzwerte		Datum der Probennahme			
		KSVO	DVO	05.08.96	24.10.96	27.03.97	27.06.97
Trockensubstanz	[%]	-	-	20,0	25,8	18,3	31,3
Wassergehalt	[%]	-	-	70,0	74,2	81,7	68,7
pH-Wert		-	-	6,9	6,7	6,6	6,4
Glühverlust	[% TS]	-	8	71,6	64,1	70,9	60,9
TOC	[g/kg TS]	-	5	386	334	347	373
oberer Heizwert	[kJ/kg TS]		6.000	16.900	14.700	16.300	13.800
Zink	[mg/kg TS]	2.000	5.000	282	659	1.100	594
Kupfer	[mg/kg TS]	500	5.000	128	238	102	221
Chrom gesamt	[mg/kg TS]	500	5.000	144	182	110	86
Blei	[mg/kg TS]	500	3.000	40	116	21	89
Nickel	[mg/kg TS]	100	2.000	57	89	51	92
Cobalt	[mg/kg TS]	100	500	11	13	15	27
Arsen	[mg/kg TS]	-	500	5,6	5,0	5,4	11
Molybdän	[mg/kg TS]	20	-	49	18	121	32
Cadmium	[mg/kg TS]	10	30	0,83	1,2	0,76	1,9
Quecksilber	[mg/kg TS]	10	20	0,62	5,7	2,1	0,9
Barium	[mg/kg TS]	-	10.000	266	252	323	318
Mangan	[mg/kg TS]	-	-	174	233	246	384
Silber	[mg/kg TS]	-	50	5,4	n.b.	9,9	13
Summe der KW	[mg/kg TS]	-	20.000	2.770	2.350	2.460	2.860
AOX	[mg/kg TS]	500 ¹⁾	-	73	91	79	46
POX	[mg/kg TS]	-	1.000	0,010	0,024	0,013	0,009
PAK	[mg/kg TS]	-	100	2,4	1,8	1,0	3,3
PCB	[mg/kg TS]	0,2 ¹⁾	-	0,17	0,10	< 0,01	< 0,01
NH ₄ ⁺	[mg/kg TS]	-	-	7.230	8.940	6.860	18.800
NO ₃ ⁻	[mg/kg TS]	-	-	12	10	< 0,5	< 0,5
Gesamt N	[mg/kg TS]	-	-	45.600	38.400	49.200	46.000
Gesamt P	[mg/kg TS]	-	-	23.250	50.300	15.200	11.000
Kalzium	[mg/kg TS]	-	-	21.200	17.350	21.900	23.200
Magnesium	[mg/kg TS]	-	-	5.240	5.010	5.620	6.300
Eisen	[mg/kg TS]	-	-	24.600	14.520	13.900	17.500
Kalium	[mg/kg TS]	-	-	6.400	8.420	2.820	5.660
Natrium	[mg/kg TS]	-	-	5.070	4.910	3.910	5.700

¹⁾ gemäß Steiermärkischer Klärschlammverordnung sind ARA ab 30.000 EGW zur Messung von AOX, PCB und PCDD/PCDF verpflichtet; Grenzwerte sind aber nicht gesetzt worden
n.b. nicht bestimmt

Tabelle H5: Nähr- und Schadstoffgehalte im Klärschlamm der ARA **Bruck/Oberaich**

Parameter	Einheiten	Grenzwerte		Datum der Probennahme			
		KSVO	DVO	05.08.96	6.11.96	März 97	24.06.97
Trockensubstanz	[%]	-	-	28,9	27,1	n.b.	28,2
Wassergehalt	[%]	-	-	71,1	72,9	n.b.	71,8
pH-Wert		-	-	6,8	6,9	n.b.	7,1
Glühverlust	[% TS]	-	8	42,4	66,4	n.b.	53,2
TOC	[g/kg TS]	-	50	278	342	n.b.	307
oberer Heizwert	[kJ/kg TS]	-	6.000	7.440	13.400	n.b.	10.800
Zink	[mg/kg TS]	2.000	5.000	1.120	714	n.b.	1.230
Kupfer	[mg/kg TS]	500	5.000	436	326	n.b.	262
Chrom gesamt	[mg/kg TS]	500	5.000	111	121	n.b.	48
Blei	[mg/kg TS]	500	3.000	111	152	n.b.	115
Nickel	[mg/kg TS]	100	2.000	56	47	n.b.	58
Cobalt	[mg/kg TS]	100	500	5,3	3,5	n.b.	8,0
Arsen	[mg/kg TS]	-	500	3,3	3,2	n.b.	4,2
Molybdän	[mg/kg TS]	20	-	7,2	12	n.b.	16
Cadmium	[mg/kg TS]	10	30	2,5	2,6	n.b.	3,4
Quecksilber	[mg/kg TS]	10	20	2,8	3,5	n.b.	4,0
Barium	[mg/kg TS]	-	10.000	861	543	n.b.	540
Mangan	[mg/kg TS]	-	-	357	379	n.b.	467
Silber	[mg/kg TS]	-	50	22	19	n.b.	33
Summe der KW	[mg/kg TS]	-	20.000	24.600	8.850	n.b.	3.820
AOX	[mg/kg TS]	500 ¹⁾	-	67	73	n.b.	68
POX	[mg/kg TS]	-	1.000	0,014	0,003	n.b.	0,007
PAK	[mg/kg TS]	-	100	n.b.	9,6	n.b.	3,9
PCB	[mg/kg TS]	0,2 ¹⁾	-	0,05	0,15	n.b.	< 0,01
NH ₄ ⁺	[mg/kg TS]	-	-	3.540	3.460	n.b.	7.850
NO ₃ ⁻	[mg/kg TS]	-	-	< 1	8,3	n.b.	< 0,5
Gesamt N	[mg/kg TS]	-	-	27.400	22.500	n.b.	29.000
Gesamt P	[mg/kg TS]	-	-	19.000	45.500	n.b.	21.200
Kalzium	[mg/kg TS]	-	-	43.900	45.120	n.b.	52.300
Magnesium	[mg/kg TS]	-	-	9.300	6.210	n.b.	6.990
Eisen	[mg/kg TS]	-	-	12.400	9.650	n.b.	18.170
Kalium	[mg/kg TS]	-	-	2.850	7.090	n.b.	3.570
Natrium	[mg/kg TS]	-	-	3.680	4.970	n.b.	7.780

¹⁾ gemäß Steiermärkischer Klärschlammverordnung sind ARA ab 30.000 EGW zur Messung von AOX, PCB und PCDD/PCDF verpflichtet; Grenzwerte sind aber nicht gesetzt worden
n.b. nicht bestimmt

In den Abbildungen I1 bis I4 sind in Ergänzung zu Kapitel 9.2.2.2 die Ergebnisse der Laborabsiebungen für die Fraktionen der großtechnischen Absiebung 0-12 mm, 12-24 mm, 24-80 mm und kummuliert für die Fraktion 0-80 mm dargestellt.

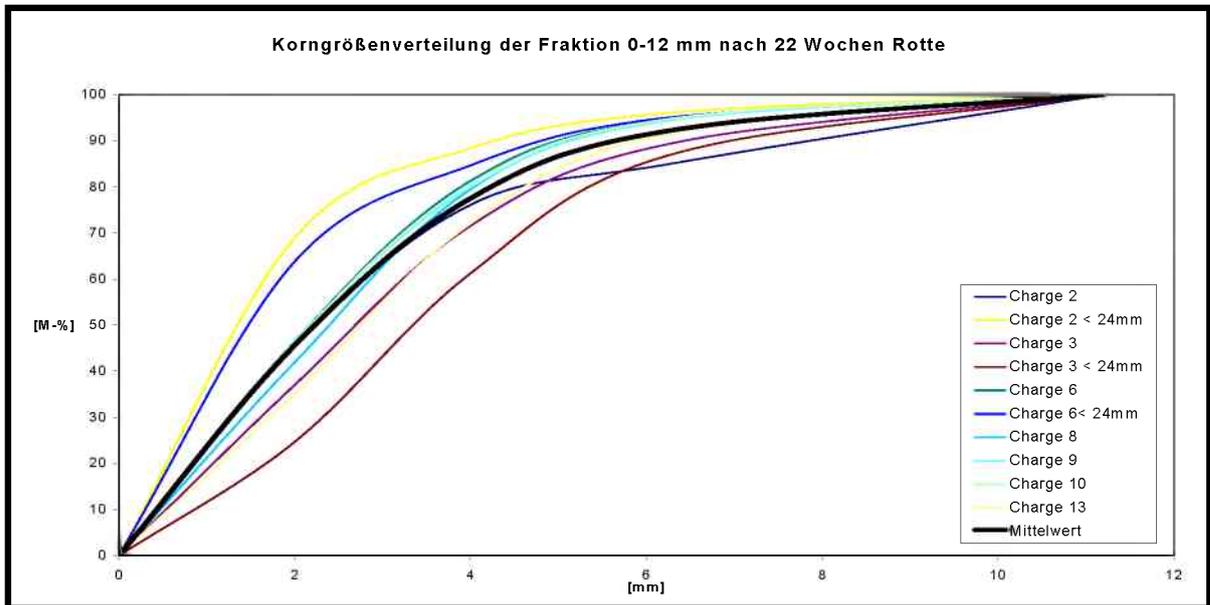


Abbildung I1: Korngrößenverteilung der Siebfraktion 0-12 mm des Rottegutes nach 22 Wochen biologischer Behandlung

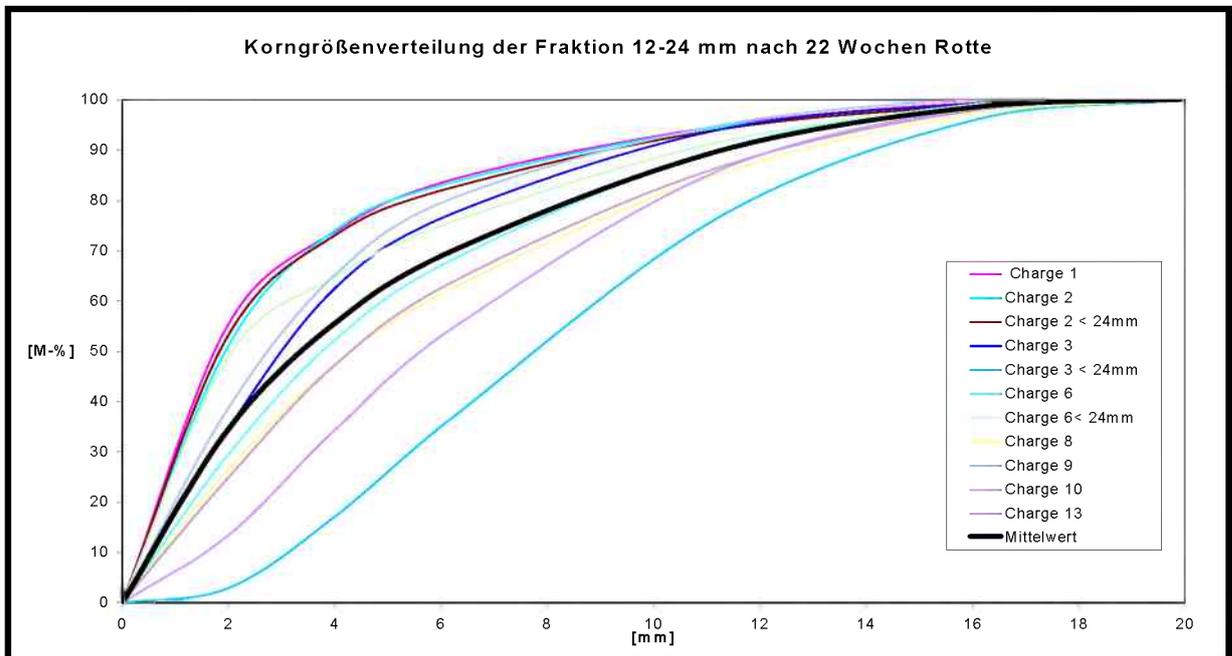


Abbildung I2: Korngrößenverteilung der Siebfraktion 12-24 mm des Rottegutes nach 22 Wochen biologischer Behandlung

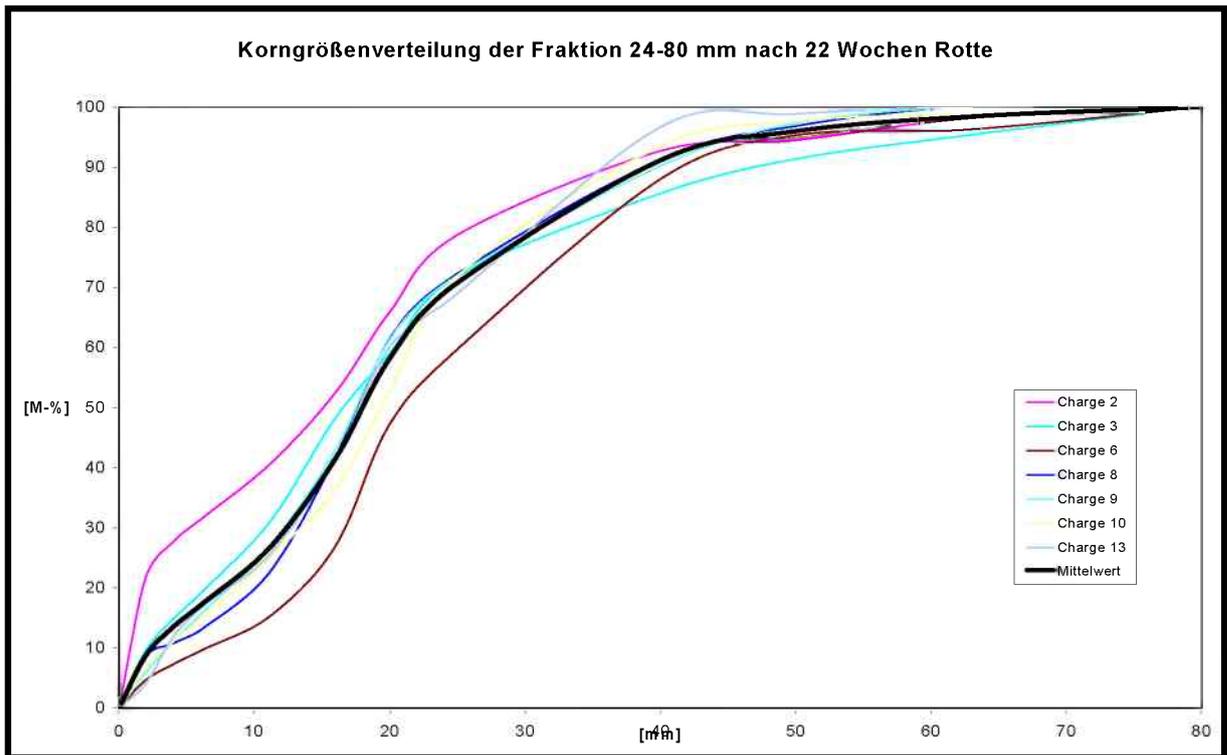


Abbildung I3: Korngrößenverteilung der Siebfraction 24-80 mm des Rottegutes nach 22 Wochen biologischer Behandlung

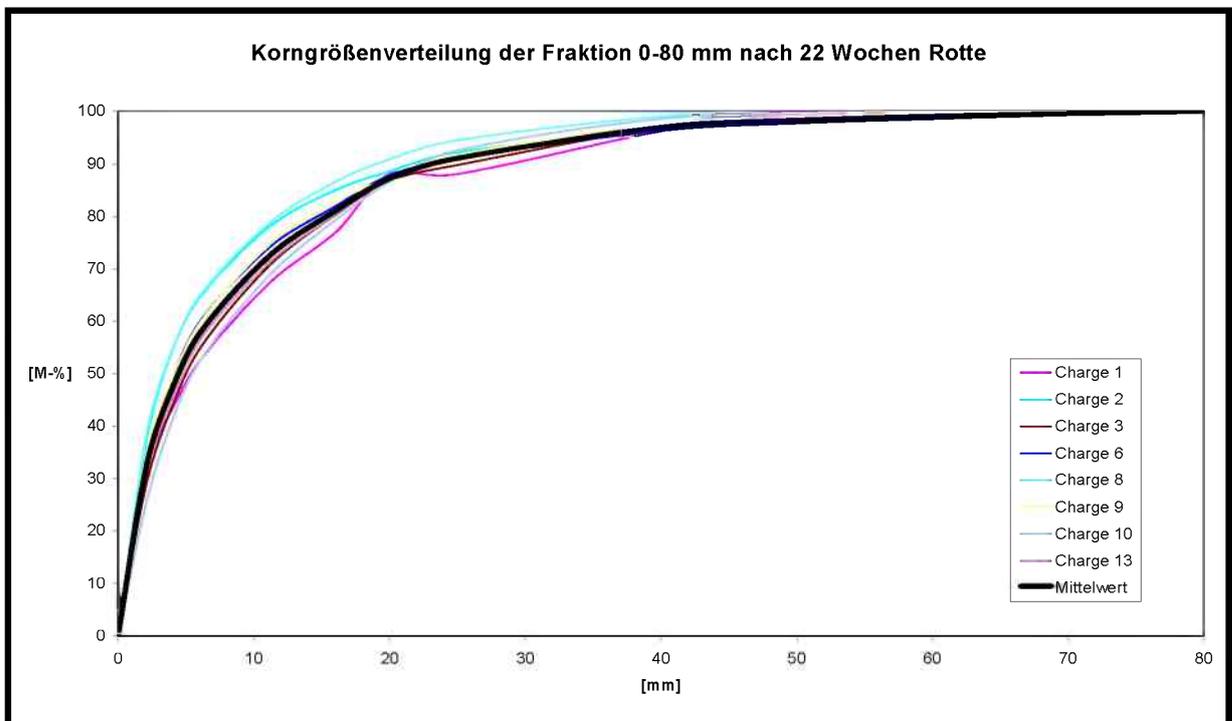


Abbildung I4: Korngrößenverteilung der Siebfraction 0-80 mm des Rottegutes nach 22 Wochen biologischer Behandlung

Als Ergänzung zu Kapitel 10 wird hier der Zusammenhang zwischen H_o und TOC erläutert.

Für das **H_o /TOC-Verhältnis** lassen sich wie für das H_o /GV-Verhältnis erhebliche Unterschiede innerhalb und zwischen den einzelnen Fraktionen feststellen. Die Standardabweichung für die Mittelwerte liegt in der gleichen Größenordnung und beträgt für die meisten Fraktionen zwischen 5,5 % (Küchenorganik) und 13,8 % (Restfraktion). Größere Abweichungen ergeben sich hier nur für den Feinmüll, dessen mittlere Standardabweichung bei rund 32 % liegt. Auch hier lassen sich die Abfälle auf Basis der mittleren H_o /TOC-Verhältnisse in 3 Gruppen einteilen, deren fraktionelle Zusammensetzung im wesentlichen den Heizwertgruppen nach Tabelle 10.1 (siehe Kapitel 10) entspricht. Die mit Abstand höchsten Quotienten ergeben sich für die Kunststofffraktionen, wobei hier allerdings die sonstigen Kunststoffe mit 53,7 an erster Stelle stehen und auch die Verbundstoffverpackungen mit 48,4 einen ähnlich hohes H_o /TOC-Verhältnis aufweisen. Der Feinmüll hat den geringsten Quotienten von durchschnittlich rund 26,7, während die übrigen Restmüllfraktionen ein H_o /TOC-Verhältnis von 36,7 (Druckerzeugnisse) bis 43,8 (Holz/Gummi/Leder) aufweisen (siehe auch Tabelle J1).

Tabelle J1: Quotienten aus oberem Heizwert und TOC für den Input der MBRA Allerheiligen

Restabfallfraktion	n	Quotient: oberer Heizwert/TOC			Standard-abw. [%]
		Min	Max	Mittel	
Sonstiger Kunststoff	15	43,1	63,4	53,7	11,7
Kunststoffverpackungen	20	41,2	55,6	49,9	7,1
Verbundstoffverpackungen	15	34,0	63,4	48,4	13,5
Holz/Gummi/Leder	15	37,8	52,1	43,8	9,4
Organik Küche	20	40,3	49,2	43,2	5,5
Textilien/Bekleidung	20	36,6	50,2	41,2	9,9
Windeln/Hygieneartikel	20	34,9	49,1	41,2	7,7
Restfraktion	20	28,4	47,0	39,2	13,8
Organik Garten	20	34,2	43,6	39,0	6,4
Papier/Pappe	20	25,3	43,6	37,7	10,1
Druckerzeugnisse	20	30,6	41,0	36,7	7,9
Feinmüll (gesamt)	95	8,1	49	26,7	32,2
Feinmüll (Sommer)	30	10,9	41,3	27,7	26,0
Feinmüll (Herbst)	5	18,5	34,7	23,7	29,6
Feinmüll (Winter)	30	8,1	49,0	28,1	35,8
Feinmüll (Frühjahr)	30	9,3	46,7	28,7	33,6
Klärschlamm	16	33,8	47,9	42,5	9,2

Für die Beziehung zwischen H_o und TOC, die Abbildung J1 dargestellt ist, ergibt sich ebenfalls ein linearer Zusammenhang, allerdings mit einem wesentlich besseren

Korrelationskoeffizienten von 0,98. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da der TOC die organische Substanz wesentlich genauer quantifiziert als der Glühverlust. Größere Abweichungen von der Ausgleichsgeraden gibt es insbesondere im Bereich der oberen Heizwerte unter 4.000 kJ/kg TS. Hier liegen die gemessenen H_o für den Feinmüll relativ weit über der Ausgleichsgeraden. Wie bereits erwähnt spielt der TOC im Rahmen der Qualitätssicherung in den Betriebsanlagen zur MBR (aus Kostengründen) nur eine untergeordnete Rolle. Werden die Analysen extern vergeben, so macht es wenig Sinn den TOC zu messen, um den oberen Heizwert abzuschätzen. Zum einen ist die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der TOC-Analysen nicht (wesentlich) besser als die der H_o -Bestimmungen und zum anderen ist die H_o -Messung nicht viel teurer. Wenn also Analysen vergeben werden müssen, sollte direkt der obere Heizwert bestimmt werden.

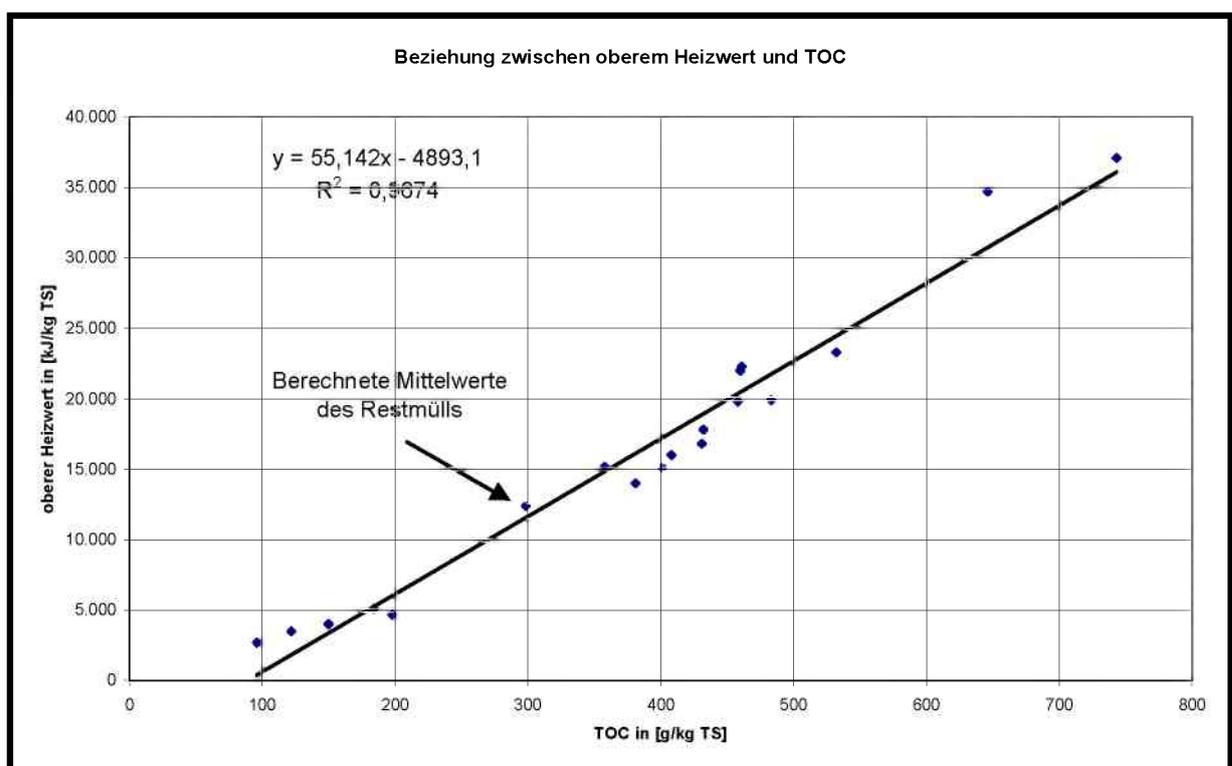


Abbildung J1: Beziehung der Parameter TOC und oberer Heizwert von einzelnen Sortierfraktionen (jeweils Mittelwerte aus den gesamten Sortierungen bzw. bei Feinmüll auch aus den einzelnen Sortierungen)

Derzeit existiert aus Sicht des Verfassers noch keine ausreichende Datengrundlage, um wirklich belastbare Korrelationen zwischen den Parametern H_o und TOC für das **Rottegut** aus der MBR nachzuweisen. Deshalb wird im folgenden der Versuch unternommen, diesen Zusammenhang durch die verfügbaren Meßwertpaare für unbehandelten Restmüll (bzw. Restmüllfraktionen), Klärschlamm und das Rottegut aus den verschiedensten Betriebsanlagen bzw. Pilotprojekten zu ermitteln. Neben den eigenen Analysenwerten

wurden auch die verfügbaren Ergebnisse anderer Projekte [29, 38, 41] berücksichtigt. Das Ergebnis ist als Gesamtdarstellung (TOC 0 bis 900 g/kg TS) in Abbildung J2 und für den Bereich der TOC-Werte von 0 bis 400 g/kg TS in Abbildung J3 dargestellt. Insgesamt wurden 495 Datensätze verarbeitet.

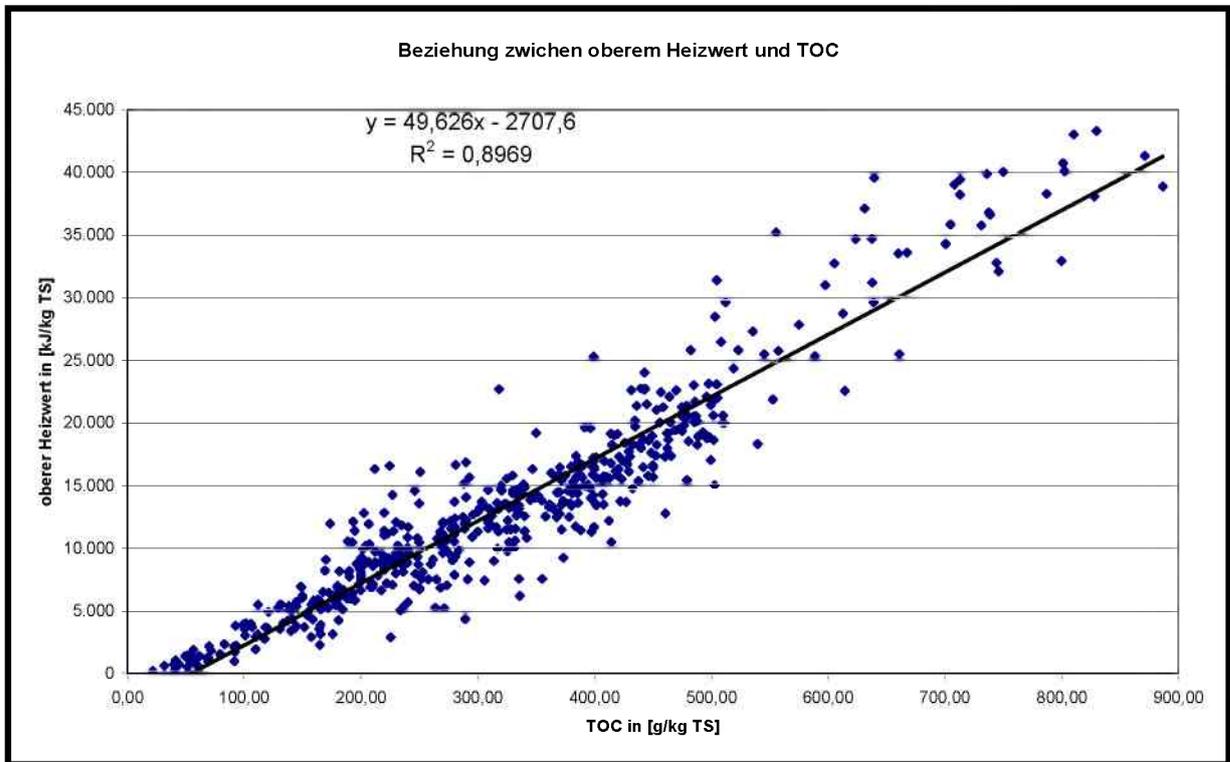


Abbildung J2: Korrelation zwischen H_o und TOC für unbehandelte und behandelte Restabfälle auf Basis der eigenen Untersuchungsergebnisse ergänzt durch [29, 38 und 41] (Gesamtdarstellung: TOC von 0 bis 900 g/kg TS)

Es ergibt sich auch hier eine Ausgleichsgerade mit einem sehr guten Korrelationskoeffizienten von 0,95, allerdings ist die Steigung mit 49,6 geringer als in Abbildung J1 und der Schnittpunkt mit der Y-Achse liegt aufgrund des flacheren Verlauf bei -2.708 und nicht bei -4.893. Nach dieser Darstellung entspricht ein H_o von 6.000 kJ/kg TS einem TOC von 175 g/kg TS.

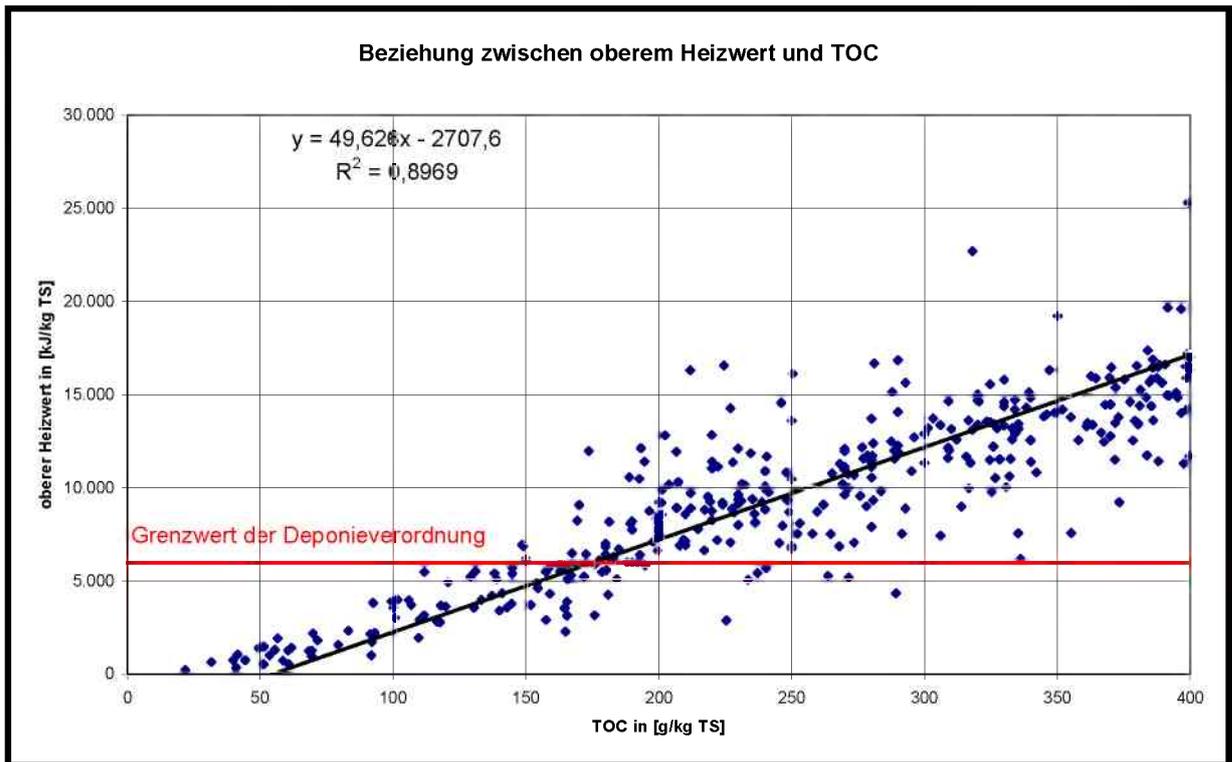


Abbildung J3: Korrelation zwischen H_o und TOC für unbehandelte und behandelte Restabfälle auf Basis der eigenen Untersuchungsergebnisse ergänzt durch [29, 38 und 41] (Ausschnitt: TOC von 0 bis 400 g/kg TS)