

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing./DI) im Studiengang
„Industrieller Umweltschutz, Entsorgungstechnik und Recycling“ an der Montanuniversität
Leoben

Theoretische und praktische Untersuchung der Ersatzbrennstoffqualität

erstellt für

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Vorgelegt von:

Melanie Rogetzer, BSc

0735024

Betreuer/Gutachter:

Dipl.-Ing. Renato Sarc

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Roland Pomberger

Leoben, 28.05.2013

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

AFFIDAVIT

I declare in lieu of oath, that I wrote this Thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

DANKSAGUNG

Das Schreiben einer Masterarbeit ist wohl die interessanteste Zeit des Studiums. Man erkennt, dass sich die vielen Jahre des Studierens und des Lernens gelohnt haben. Und da noch kein Meister vom Himmel gefallen ist, möchte ich mich bei einigen Personen für ihre Hilfsbereitschaft und Unterstützung bedanken.

Meinen beiden wissenschaftlichen Betreuern Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Roland Pomberger sowie Herrn Dipl.-Ing. Renato Sarc von der Montanuniversität Leoben danke ich für ihre hilfreichen Anregungen und ihre konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit.

Großer Dank gebührt auch dem gesamten Team des Labors für Umwelt- und Prozessanalytik an der Montanuniversität Leoben. Bereits während meiner Bachelorarbeit standen sie mir bei der Versuchsplanung und -durchführung mit Rat und Tat zur Seite.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen in dieser Arbeit genannten Firmen, die mir einen reibungslosen Ablauf der Probenahme ermöglichten. Zusätzliche Daten und Informationen wurden immer sehr gerne von den einzelnen Ansprechpartnern bereitgestellt.

Zum Schluss gilt mein Dank noch den für mich wichtigsten Personen in meinem Leben.

Ich danke meinen Eltern, die mir das Studium ermöglicht haben. Durch ihr Verständnis sowie ihre moralische und finanzielle Unterstützung konnte ich sechs wunderschöne Jahre in Leoben verbringen. Meiner Mama danke ich besonders für die vielen Stunden, die sie mit Korrekturlesen verbracht hat.

Meinem Freund Andreas möchte ich für die alltägliche Unterstützung und Hilfe während der gesamten Studienzeit danken. Ohne seine Liebe und Geduld hätten mich so manche Prüfungen und Situationen mit Sicherheit zur Verzweiflung gebracht.

Wer hart arbeitet braucht auch gute Freunde. Deshalb möchte ich mich bei all meinen Freunden und Studienkollegen für die schöne gemeinsame Zeit an der Montanuniversität bedanken. Ich werde noch lange an die lustigen Stunden zurück denken und die vielen Freundschaften auch weiterhin aufrechterhalten.

Herzlichen Dank!

Kurzfassung

Theoretische und praktische Untersuchung der Ersatzbrennstoffqualität

Laut der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) muss eine Mitverbrennungsanlage jährlich durch eine externe Fachperson oder Fachanstalt auf deren Einhaltung der Anforderungen überprüft werden. Im Rahmen dieser Überprüfung wurden Ersatzbrennstoffproben von acht verschiedenen Lieferanten normenkonform (ÖNORM 15442) entnommen und anschließend im Labor für Umwelt- und Prozessanalytik an der Montanuniversität Leoben einer chemischen Untersuchung unterzogen. Bei den Abfällen wird dabei zwischen Hot Disc (HD) Material (größere Korngröße) und zwischen Main Burner (MB) Material unterschieden. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Ermittlung der Mindestprobenmenge gelegt. Diese wurde aus der ÖNORM 15442 – Anhang F in Abhängigkeit vom Größtkorn (d_{95}) berechnet. Im Anschluss an die Probenahme wurden noch Sortier- und Siebanalysen zur umfangreichen Charakterisierung der Abfälle durchgeführt. So konnten dabei die exakte stoffliche Zusammensetzung der Abfälle sowie deren Korngrößenverteilung ermittelt werden. Die erhaltenen Ergebnisse wurden im Anschluss miteinander verglichen und ausgewertet. Den Abschluss dieser Masterarbeit bildet ein theoretisches Modell zu den anlagenspezifischen Anreicherungskurven für bestimmte Fraktionen.

Abstract

Theoretical and practical analysis of solid recovered fuels (SRF)

In accordance with the Waste Incineration Directive (WID), it is compulsory that a co-incineration plant is checked annually by a specialist or an expert institution for representative compliance with requirements. In the context of such inspections, the samples from eight different waste suppliers have been taken in compliance with standards (ÖNORM 15442) given for solid recovered fuels. Afterwards, chemical and physical analyses were performed at the Laboratory for Environmental Analysis at the University of Leoben (Montanuniversität). The wastes types under investigations were classified into Hot Disc (HD) material (larger particle size) and Main Burner (MB) material. Special emphasis was laid on the calculation of the minimum sample amount. It was calculated from the maximum particle diameter d_{95} in accordance with the standard ÖNORM 15442 – annex F. For a better material fraction characterization of wastes, sieving and sorting analyses were performed. Such, the exact composition and the particle size distribution of investigated wastes could be identified. Finally, the results were compared and discussed. At the end of the Thesis, a mathematical model for the plant dependent enrichment curves of waste fractions is explained.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	4
2 GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN.....	5
2.1 Abfallwirtschaftsgesetz (AWG).....	5
2.2 Abfallverbrennungsverordnung (AVV)	6
2.3 Richtlinie für Ersatzbrennstoffe	10
2.4 Normen	11
2.4.1 ÖNORM 15442 - Feste Sekundärbrennstoffe - Verfahren zur Probenahme.....	11
2.4.2 ÖNORM 15443 - Feste Sekundärbrennstoffe - Verfahren zur Herstellung einer Laboratoriumsprobe.....	14
3 ERSATZBRENNSTOFFE	17
3.1 Einteilung der Ersatzbrennstoffe	17
3.2 Beispiele von Ersatzbrennstoffen.....	18
3.3 Herstellung von Ersatzbrennstoffen	19
3.4 Eigenschaften der Ersatzbrennstoffe	20
3.5 Potentielle Abnehmer für Ersatzbrennstoffe	21
3.6 Qualitätskriterien für Ersatzbrennstoffe	22
3.7 Potentielle Risiken mit Ersatzbrennstoffen.....	25
4 PROBENAHRME/PROBENVORBEREITUNG	26
4.1 Probenahme - Durchführung	26
4.2 Probenvorbereitung für chemische Analysen	28
4.3 Probenvorbereitung für Sieb- und Sortieranalysen	30
5 CHEMISCHE ANALYSEN	31
5.1 Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Spurenelementen (Sb, As, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Tl und Hg).....	31
5.1.1 Ergebnisse der Gehalte an Spurenelemente.....	33

5.2	Bestimmung von Brennwert und Heizwert	33
5.3	Bestimmung des Trockenrückstandes	35
6	SIEBANALYSEN	36
6.1	Praktische Durchführung der Siebanalyse	37
6.2	Ergebnisse der Siebanalyse	38
7	SORTIERANALYSEN.....	53
7.1	Praktische Durchführung der Sortieranalyse	53
7.2	Ergebnisse der Sortieranalyse	55
8	THEORETISCHES MODELL ZU DEN ANLAGENSPEZIFISCHEN ANREICHERUNGSKURVEN	69
9	ERGEBNISSE / DISKUSSION	75
9.1	Diskussion der Ergebnisse der chemischen Analysen.....	75
9.2	Diskussion der Ergebnisse der Siebanalysen	77
9.3	Diskussion der Ergebnisse der Sortieranalysen	79
9.4	Diskussion der Ergebnisse der anlagenspezifischen Anreicherungskurven	81
10	ZUSAMMENFASSUNG	83
11	VERZEICHNISSE	87
11.1	Literatur.....	87
11.2	Abkürzungsverzeichnis	90
11.3	Tabellen	92
11.4	Abbildungen	94
ANHANG	I

1 Einleitung

Im Zuge der Umsetzung der Deponierahmenrichtlinie 1999/31/EG sind die Mitgliedsstaaten verpflichtet, den Anteil an biologisch abbaubaren Stoffen, die auf Deponien abgelagert werden, schrittweise auf maximal 35 % zu reduzieren. Das Jahr 2004 hat einen großen Umbruch in der österreichischen Abfallwirtschaft bewirkt. Laut Deponieverordnung ist die Deponierung von Abfällen, deren TOC größer als 5 % beträgt, in Österreich nicht mehr zulässig. Daraus wird eine geeignete Behandlung der Abfälle notwendig, um sie auf eine kontrollierte Ablagerung auf Deponien vorzubereiten. Die Umsetzung erfolgt einerseits über die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen (MVA) und andererseits über die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA). Die regionale Entwicklung in der Steiermark ist durch eine Abfallpolitik gekennzeichnet, die nicht auf die klassische Müllverbrennung, sondern auf die MBA und auf die thermische Verwertung in der Industrie setzt. Durch eine mechanisch-biologische Behandlung kann der TOC < 5 % nicht erreicht werden. Aufgrund einer Ausnahmeregelung ist die anschließende Ablagerung auf einem gesonderten Kompartiment auf einer Massenabfalldeponie zulässig, sofern der obere Heizwert (Brennwert) von 6.600 kJ/kg nicht überschritten wird. Das bedeutet, dass der höhere kalorische Anteil nach der Rotte abgetrennt werden muss und einer thermischen Behandlung/Verwertung zugeführt werden muss. Für diesen Anteil kommt entweder die Verbrennung in einer Monoverbrennungsanlage oder die Mitverbrennung als Ersatzbrennstoff (EBS) in Frage. In Österreich ist die Kapazität der MVA Anlagen zu gering, um alle nicht verwertbaren Siedlungs- und Gewerbeabfälle thermisch behandeln zu können. Aus diesem Grund setzt man stark auf die MBA und der damit einhergehenden Aufbereitung von Ersatzbrennstoffen zur Mitverbrennung in industriellen Feuerungsanlagen. [1], [2]

Im Zuge der Umsetzung der Deponieverordnung und durch die Preissituation am Energiemarkt ist die Bedeutung von Ersatzbrennstoffen in den letzten Jahren stark gestiegen. Es ist heutzutage möglich EBS zur Substitution von Primärbrennstoffen in Prozessen der Grundstoffindustrie (z.B. Zementindustrie) und im Bereich der Energieumwandlung (z.B. in Kraftwerken) einzusetzen. Um einen optimalen Einsatz der EBS zu gewährleisten, ist eine grundlegende Charakterisierung des heizwertreichen Materials erforderlich. Bei der Herstellung von Ersatzbrennstoffen ist eine definierte und wenn möglich gleichbleibende Qualität entscheidend. So kommt bereits der Auswahl der geeigneten Inputmaterialien eine große Bedeutung zu. Eine Charakterisierung von Abfällen und abfallstämmigen Brennstoffen gestaltet sich aufgrund der Heterogenität als äußerst schwierig. Sie hängt stark vom jeweiligen Material und von den Untersuchungsparametern ab. [3]

1.1 Problemstellung

Laut Anlage 8 Ziffer 2.14 Abfallverbrennungsverordnung idgF müssen Inhaber von Mitverbrennungsanlagen die Einhaltung der Anforderungen dieser Anlage durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt mindestens einmal jährlich überprüfen lassen, wenn die laufende Qualitätssicherung intern (durch ein eigenes Labor), durchgeführt wird. Im

Anschluss müssen entsprechende Gesamtbewertungsnachweise erstellt werden. Der Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft an der Montanuniversität Leoben wurde für eine solche externe Überprüfung beauftragt, woraus sich auch das Thema dieser Masterarbeit entwickelt hat.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Masterarbeit soll es sein, bei ausgewählten Unternehmen Ersatzbrennstoffproben mit unterschiedlichen Qualitäten zu entnehmen und diese im Anschluss zu charakterisieren. Dabei sollen Probenahmepläne laut Abfallverbrennungsverordnung (AVV) bzw. laut ÖNORM 15442 erstellt werden. Im Anschluss an die theoretische Einarbeitung in das Themengebiet sollen Probenahmen vor Ort durchgeführt werden. Danach sollen im Labor für Umwelt- und Prozessanalytik an der Montanuniversität Leoben Sortier-, Sieb- und chemische Analysen durchgeführt werden. Ein besonderes Augenmerk soll dabei auf die Grenzwerte, die laut AVV eingehalten werden müssen, gelegt werden. Den Abschluss der Arbeit soll eine Zusammenfassung aller Ergebnisse, sowie eine Erarbeitung eines theoretischen Modells zu den anlagenspezifischen Anreicherungskurven bilden.

2 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Zu Beginn dieser Masterarbeit wird auf die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen, die mit Ersatzbrennstoffen in Verbindung stehen, eingegangen. Erläutert werden in Folge das Abfallwirtschaftsgesetz, die Abfallverbrennungsverordnung sowie die Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Im Anschluss daran werden zwei wichtige Normen (ÖNORM 15442 und ÖNORM 15443), die bei der Probenahme und der Probenvorbereitung von Sekundärbrennstoffen eine wichtige Rolle spielen, beschrieben. Diskutiert wird die Erstellung eines Probenahmeplans, die Berechnung der Mindestprobenmenge, sowie einzelne Maßnahmen, um die genommenen Proben in Laboratoriumsproben zu überführen.

2.1 Abfallwirtschaftsgesetz (AWG)

Das Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) von 2002 stellt die wichtigste Grundlage und abfallrechtliche Vorschrift für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen dar und regelt grundsätzlich die gesamte Abfallwirtschaft in Österreich. Der erste Abschnitt, welcher als allgemeine Bestimmungen bezeichnet wird, regelt die Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft. Als primäres Ziel der Abfallwirtschaft werden gemäß § 1 Abs. 1 das Vorsorgeprinzip und die Nachhaltigkeit angesehen. Oberstes Ziel ist es, in einer Art und Weise mit Abfall umzugehen, dass die Einwirkungen auf die Umwelt und Schutzgüter wie Menschen, Tiere und Pflanzen so gering wie möglich gehalten werden. [4] Laut dem AWG unterscheidet man fünf wesentliche Hierachiestufen:

1. *Abfallvermeidung,*
2. *Vorbereitung zur Wiederverwendung,*
3. *Recycling,*
4. *sonstige Verwertung (z.B. energetische Verwertung) und*
5. *Abfallbeseitigung. [4]*

Bei den einzelnen Stufen sind jeweils die technischen Möglichkeiten und die ökologischen Zweckmäßigkeiten zu berücksichtigen. Für den gewonnenen Stoff sollen sich die Mehrkosten im Rahmen halten und es soll ein Markt dafür existieren. Abfälle, die man nicht verwerten kann, werden je nach Inhaltsstoffen biologisch, thermisch, chemisch oder physikalisch behandelt. Abfälle die behandelt werden, sollen so nahe wie möglich am Entstehungsort behandelt bzw. entsorgt werden. [4]

Gemäß § 2 Abs. 1 AWG werden Abfälle als bewegliche Sachen bezeichnet, die unter die in Anhang 1 angeführten Gruppen fallen und

- deren Besitzer die Absicht hat, sich von diesen Abfällen zu entledigen oder sich bereits entledigt hat (subjektiver Abfallbegriff) oder
- wenn die Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung des Abfalls im Sinne des öffentlichen Interesses steht (objektiver Abfallbegriff). [4]

Im Zuge des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen in Mitverbrennungsanlagen spricht man von einer sogenannten **Abfallbehandlung**. Laut AWG versteht man darunter jedes Beseitigungs- oder Verwertungsverfahren inklusive der Vorbereitung vor der Verwertung oder der Beseitigung. Solche Anlagen unterliegen der Genehmigungspflicht und es muss unbedingt eine Erlaubnis beim Landeshauptmann eingeholt werden. Unter der **Verwertung** versteht man jedes Verfahren bei dem Abfälle, innerhalb der Anlage oder in der Wirtschaft in umweltgerechter Weise, einem sinnvollen Zweck zugeführt werden. Dazu zählt auch die energetische Verwertung. Bei Mitverbrennungsanlagen muss die Öffentlichkeit in den Genehmigungsprozess miteingezogen werden. [4]

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Abfalleigenschaft einer Sache zu beenden:

1. durch einen Feststellungsbescheid,
2. durch ein gesetzliches Abfallende (Abfallendeverordnung),
3. das Abfallende tritt mit Abschluss des Verwertungsverfahrens ein oder
4. Abfallende durch Vorbereitung zur Wiederverwendung. [4]

Laut § 17 haben Abfallbesitzer (Abfallersterzeuger, -sammler und -behandler) für jedes Kalenderjahr Aufzeichnungen über Art, Menge, Herkunft und Verbleib der Abfälle zu führen. Seit 01.01.2007 muss dies in elektronischer Form erfolgen. [4]

Die weiteren Kapitel gliedern sich in die grenzüberschreitende Verbringung, Behandlungsaufträge, Überprüfung, Übergangsbestimmungen und in Schlussbestimmungen. [4]

2.2 Abfallverbrennungsverordnung (AVV)

Die Verordnung über die Verbrennung von Abfällen ist eine vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) erlassene Verordnung. Sie gilt sowohl für Allein- als auch für Mitverbrennungsanlagen und regelt die thermische Behandlung von gefährlichen und nichtgefährlichen Abfällen. Dieser Gesetzestext legt den Stand der Verbrennungstechnik, Eingangskontrollen, Emissionsmessungen sowie die Betriebsbedingungen für Anlagen fest. [5]

Die Abfallverbrennungsverordnung gilt für:

- Behandlungsanlagen gemäß den §§ 37 oder 52 AWG 2002,
- Dampfkessel und Gasturbinen gemäß § 1 Abs. 1 Z 1 und 2 EG-K und
- gewerbliche Betriebsanlagen gemäß § 74 Abs. 1 GewO 1994. [5]

Im Detail unterscheidet man zwei von der AVV definierte Anlagentypen:

1. **Verbrennungsanlagen:** Darunter versteht man eine thermische Behandlung von Abfällen, mit oder ohne Nutzung der entstehenden Verbrennungswärme. Es kann sich dabei sowohl um ortsfeste als auch um nicht ortsfeste Anlagen handeln.

Darunter wird auch die Oxidation, die Pyrolyse oder die Vergasung verstanden, vorausgesetzt die entstehenden Stoffe werden anschließend verbrannt.

2. **Mitverbrennungsanlagen:** Darunter versteht man ortsfeste oder nicht ortsfeste Anlagen die hauptsächlich zur Energieerzeugung oder zur Produktion stofflicher Erzeugnisse eingesetzt werden. Abfall kann dabei entweder als regulärer oder als zusätzlicher Brennstoff verwendet werden. [5]

Die Abfallverbrennungsverordnung teilt des Weiteren auch die Mitverbrennungsanlagen in drei Anlagengruppen ein:

- **Anlagen zur Zementerzeugung:** Diese stellen Sonderfälle von Mitverbrennungsanlagen dar. Es gelten eigene Grenzwerte für Luftemissionen.
- **Feuerungsanlagen:** Darunter versteht man Anlagen zur Verbrennung von festen oder flüssigen Brennstoffen oder von Biomasse. Auch in diesem Fall sind eigene Grenzwerte vorhanden.
- **Sonstige Mitverbrennungsanlagen:** Diese Gruppe umfasst alle restlichen Anlagen, welche nicht zu den Anlagen zur Zementerzeugung oder zu den Feuerungsanlagen zählen. Beispiele sind Kalköfen, Ziegelwerke oder die Eisen- und Stahlindustrie. [5]

Für die Verbrennung von Ersatzbrennstoffen in Mitverbrennungsanlagen gelten folgende Betriebsbedingungen und Qualitätsanforderungen:

- ein möglichst vollständiger Verbrennungsgrad sollte erreicht werden,
- der TOC Gehalt sollte $< 3 \%$ in der Schlacke und Asche sein,
- die Temperatur des entstehenden Verbrennungsgases muss kontrolliert werden und muss selbst unter den ungünstigsten Bedingungen zwei Sekunden lang auf $850 \text{ }^\circ\text{C}$ erhöht werden,
- bei gefährlichen Abfällen muss die Temperatur auf $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ erhöht werden,
- ein automatisches System zur Verhinderung der Beschickung mit Abfällen muss vorhanden sein und
- Emissionen in die Luft, die am Boden zu einer signifikanten Luftverunreinigung führen, müssen verhindert werden. [5]

In Abhängigkeit von der Art der Verbrennungs- bzw. Mitverbrennungsanlage sind in der AVV Grenzwerte für verschiedene Schadstoffe im Inputmaterial festgelegt. Das bedeutet, dass neben den Grenzwerten am Kamin auch die Grenzwerte bei den Inputmaterialien kontrolliert werden. Zum Teil handelt es sich um feste Grenzwerte, zum Teil sind diese nach der Mischungsregel zu berechnen. Im Anschluss sind die Grenzwerte für alle Mitverbrennungsanlagen aufgelistet (vgl. Tabelle 1 - Tabelle 3). [5]

Tabelle 1: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe bei Anlagen zur Zementerzeugung [5]

Parameter	Grenzwerte [mg/MJ TM]	
	Median	80-er Perzentil
Sb	7	10
As	2	3
Pb	20	36
Cd	0,23 ¹⁾	0,46 ¹⁾
Cr	25	37
Co	1,5	2,7
Ni	10	18
Hg	0,075	0,15

¹⁾ Für qualitätsgesicherte Ersatzbrennstoffe (Schlüssel-Nummer 91108 gemäß Abfallverzeichnisverordnung, BGBl. II Nr. 570/2003, in der geltenden Fassung) gilt für den Median ein Grenzwert von 0,45 mg/MJ und für das 80-er Perzentil ein Grenzwert von 0,7 mg/MJ.

Tabelle 2: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe in Kraftwerksanlagen [5]

Parameter	Grenzwerte [mg/MJ TM]			
	Anteil der BWL ¹⁾ ≤ 10 %		Anteil der BWL ¹⁾ ≤ 15 %	
	Median	80-er Perzentil	Median	80-er Perzentil
Sb	7	10	7	10
As	2	3	2	3
Pb	23	41	15	27
Cd	0,27	0,54	0,17	0,34
Cr	31	46	19	28
Co	1,4	2,5	0,9	1,6
Ni	11	19	7	12
Hg	0,075	0,15	0,075	0,15

¹⁾ Prozentualer Anteil der Brennstoffwärmeleistung aus der Verbrennung von Abfällen an der Gesamtbrennstoffwärmeleistung.

Tabelle 3: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe in sonstigen Mitverbrennungsanlagen [5]

Parameter	Grenzwert [mg/MJ TM]	
	Median	80-er Perzentil
Sb	7	10
As	1	1,5
Pb	15	27
Cd	0,17	0,34
Cr	19	28
Co	0,9	1,6
Ni	7	12
Hg	0,075	0,15

Für Altöle und Lösemittel wird zusätzlich ein Grenzwert für die Summe der PCB in der Höhe von 10 mg/kg festgelegt. [5]

Bei der Bestimmung des Medians und des 80-er Perzentils werden die letzten 10 Untersuchungsergebnisse verwendet. Beim Median werden die Daten nach der Größe

geordnet und es wird der Wert in der Mitte der Liste betrachtet. Bei einer geraden Zahl wird der Mittelwert aus den beiden mittleren Werten gebildet. Beim 80-er Perzentil wird die geordnete Wertereihe in zwei Teile zerlegt, sodass 80 % aller Werte kleiner oder gleich und 20 % aller Werte größer oder gleich diesem Wert sind. Die Anzahl der Werte wird dazu mit 0,8 multipliziert. Wenn es sich bei dem Produkt um keine ganze Zahl handelt, muss die dem Produkt nachfolgende ganze Zahl herangezogen werden. Bei einer geraden Zahl wird der dieser Zahl entsprechende Wert der Wertreihe zum nächsten Wert der Wertreihe addiert und anschließend durch zwei dividiert. Die ermittelten Werte des 80-er Perzentils (in mg/kg TM, bei flüssigen Abfällen in mg/kg) werden durch den Heizwert (Mittelwert des letzten Jahres) bezogen auf die Trockenmasse und bei flüssigen Abfällen bezogen auf die Originalsubstanz dividiert. Ein Grenzwert gilt dann als eingehalten, wenn der Beurteilungsnachweis den Grenzwert nicht überschreitet. Bei Altölen und Lösemitteln muss jedes einzelne Analyseergebnis den PCB-Grenzwert einhalten. [5]

In Mitverbrennungsanlagen dürfen des Weiteren nur Abfälle gemäß den Vorgaben aus Anlage 8 verbrannt werden. Ein gültiger Beurteilungsnachweis muss dazu vorliegen. Ausnahmen davon sind:

- Abfälle, die die Emissionsgrenzwerte gemäß Anlage 1 AVV nachweislich einhalten, sofern die Rückstände ordnungsgemäß deponiert werden können oder als Ersatzrohstoff eingesetzt werden können,
- Abfälle bis zu 25 t/a und
- Abfälle, die in Mitverbrennungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von weniger als 500 kW verbrannt werden sollen. [5]

Auf Antrag kann die Behörde auch Abweichungen von den Vorgaben zulassen.

Auch für Ersatzbrennstoffe kann ein Abfallende eintreten, sofern sie die Vorgaben gemäß Anlage 9 AVV erfüllen und wenn ein gültiger Beurteilungsnachweis an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft übermittelt wurde. Sie werden anschließend als Ersatzbrennstoffprodukte bezeichnet. In der Tabelle 4 sind jene Grenzwerte von Ersatzbrennstoffprodukten aufgelistet, welche eingehalten werden müssen, damit ein Abfallende eintreten kann. [5]

Tabelle 4: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffprodukte (außer Holzabfälle) [5]

Parameter	Grenzwert [mg/MJ TM]	
	Median	80-er Perzentil
Sb	0,5	0,75
As	0,8	1,2
Pb	4	6
Cd	0,05	0,075
Cr	1,4	2,1
Co	0,7	1,05
Ni	1,6	2,4
Hg	0,02	0,03
S	200	300
Cl	100	150

Bei der Probenahme unterscheidet die Abfallverbrennungsverordnung zwischen Abfallströme > 40.000 t/a und Abfällen ausgenommen Abfallströme > 40.000 t/a. Für die genaue Vorgehensweise bei der Probenahme wird auf die ÖNORM 15442 verwiesen. [5]

Den Abschluss der Anlage 8 AVV bildet die externe Überwachung. Der Inhaber der Mitverbrennungsanlage ist verpflichtet, die Einhaltung der Anforderungen der Anlage mindestens einmal jährlich durch eine externe Fachperson oder Fachanstalt prüfen zu lassen, wenn die laufende Qualitätssicherung intern (durch ein eigenes Labor), durchgeführt wird. Die externe Überprüfung umfasst:

- die Überprüfung der Beurteilungsnachweise auf Richtigkeit und Vollständigkeit,
- die Probenahme und Analyse der Abfälle,
- die Analyse der Rückstellproben,
- die Überprüfung der Kalibrierung der RFA-Geräte durch Kontrollanalysen und
- die Überprüfung der Ergebnisse. [5]

Werden Abweichungen von den Grenzwerten für Mitverbrennungsanlagen festgestellt, so muss der Inhaber diese schnellstmöglich der Behörde melden.

2.3 Richtlinie für Ersatzbrennstoffe

Diese Richtlinie (sie ist nicht rechtsverbindlich) aus dem Jahr 2008 enthält, abgesehen von dem Parameter Antimon, dieselben Grenzwerte zur Regelung der Qualitäten wie die Abfallverbrennungsverordnung. Zusätzlich zu den sehr ausführlichen Begriffsbestimmungen enthält sie sehr ins Detail gehende Vorgaben zur Qualitätssicherung von Ersatzbrennstoffen. Bei der Probenahme wird zum Beispiel die Anzahl der Teilmengen von der Größe des zu untersuchenden Abfallstromes abhängig gemacht. Durch anlagenspezifische Grenzwerte werden die Emissionen in der Luft begrenzt. Beim Einsatz von Ersatzbrennstoffprodukten in Mitverbrennungsanlagen findet jedoch keine Limitierung der Schadstofffrachten in Reststoffen oder Produkten statt. [1], [6]

Ziele der Richtlinie sind:

- der Schutz des Lebens und der Gesundheit von Menschen und Umwelt,
- die Verlagerung der Schadstoffe aus den Ersatzbrennstoffen in ein Produkt sollte möglichst vermieden werden,
- der Stand der Technik für Ersatzbrennstoffe soll definiert werden und
- ein einheitliches Qualitätssicherungssystem soll festgelegt werden. [6]

2.4 Normen

Unter Normen werden qualifizierte Empfehlungen verstanden. Das heißt ihre Anwendung ist grundsätzlich freiwillig. In besonderen Fällen kann der Gesetzgeber des Bundes oder des Landes Normen oder auch Teile von Normen durch Gesetze oder Verordnungen als verbindlich erklären. Damit ist die Einhaltung der Normen nicht mehr freiwillig sondern verpflichtend. In den Normen findet man den aktuellen Stand der Technik und Wirtschaft. Alle Normen unterliegen dem Urheberrechtsgesetz und dem Normengesetz. Das bedeutet, dass eine Vervielfältigung in jeglicher Art strengstens verboten ist. Die österreichischen Normen (ÖNORMEN) werden vom Austrian Standard Institute veröffentlicht. Sie werden nur im Konsens in den Komitees, welche aus Vertreter von Unternehmen, von Behörden, von Verbrauchern oder von Wissenschaftlern bestehen, beschlossen. Derzeit findet man in Österreich an die 20.000 Normen. Allerdings sind dreiviertel dieser Normen auch europäische Normen, welche vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) herausgegeben werden. Es ist verpflichtend, dass diese von den nationalen Normungsinstituten übernommen werden. Die ÖNORM bekommt dann den Zusatz EN für europäische Norm angehängt. Des Weiteren gibt es auch noch internationale Normen (ISO Normen). Diese können, müssen aber nicht, vom nationalen Normungsinstitut übernommen werden. [7]

Im Anschluss wird auf ÖNORMEN, die die Ersatzbrennstoffe bzw. vor allem ihre Probenahme und Aufbereitung betreffen, näher eingegangen.

2.4.1 ÖNORM 15442 - Feste Sekundärbrennstoffe - Verfahren zur Probenahme

Um eine Analyse der Ersatzbrennstoffe durchführen zu können, ist zuerst eine Probenahme des Materials erforderlich. Die Wahl der richtigen Probenahmetechnik ist von mehreren Eigenschaften, wie etwa vom Material und vom Ort der Probenahme, abhängig. Vor der Probenahme stellt die Aufstellung eines Probenahmeplans einen wesentlichen Vorbereitungsschritt dar. Ein Beispiel eines solchen Plans ist im Anhang A der ÖNORM 15442 dargestellt. In diesem Schritt sollten unter anderem folgende Punkte geklärt werden [8]:

- Was sind die Ziele (**Gesamtzielsetzung**)?
- Wie viel Probe soll entnommen werden? Und wie oft?

- Wer ist für die Probenahme zuständig?
- Erreichbarkeit der Probenahmestellen?
- Wie bzw. womit erfolgt die Probenahme?
- Notwendige Sicherheitsmaßnahmen?
- Sind Konservierungsmaßnahmen für die Probe notwendig?
- Welche Parameter und welche Analysemethoden sollen im Anschluss an die Probenahme angewendet werden?

Bei der Wahl des Probenahmegerätes ist darauf zu achten, dass keine Auswirkungen auf die Zusammensetzung des Ersatzbrennstoffes festgestellt werden können. Zusätzlich muss jeder Partikel die gleiche Wahrscheinlichkeit haben in der Probe vorzukommen. Die einzelnen Geräte werden nach dem Anfallsort der Probe (Materialströme oder ruhende Partie) eingeteilt. Unter einer Partie wird die festgelegte Menge eines Brennstoffes, dessen Eigenschaften bestimmt werden sollen, verstanden. In dieser Masterarbeit wurden alle Proben aus einem ruhenden Haufen entnommen. Dazu wurde eine Probenahmeschaufel verwendet. Abbildung 1 zeigt die einzelnen Schritte, die zur Erstellung eines Probenahmeplans notwendig sind. [8]

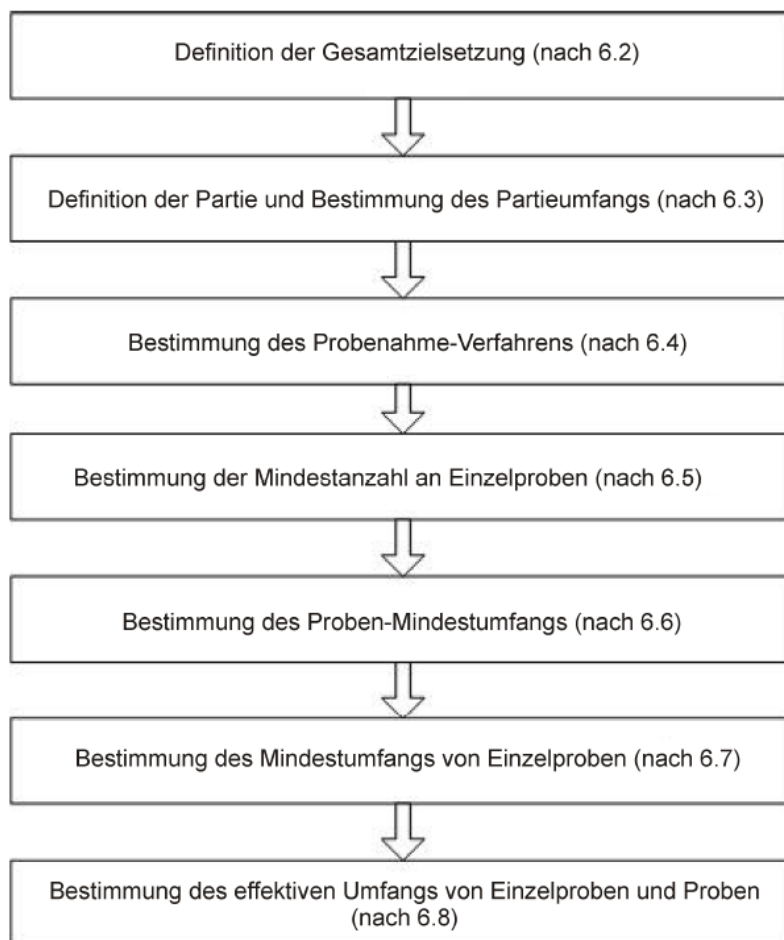


Abbildung 1: Einzelne Elemente zur Aufstellung eines Probenahmeplans [8]

In diesem konkreten Fall bezieht sich die (ruhende) **Partie** auf die Materialmenge mit den im Vorfeld vertraglich vereinbarten Spezifikationen innerhalb eines begrenzten Bereiches. Die Höchstmasse einer Partie darf nie größer als $1,5 \cdot 10^6$ kg sein. Ansonsten muss sie in mehrere Partien unterteilt werden. [8]

Beim **Probenahme-Verfahren** ist besonders die Repräsentativität des angewendeten Verfahrens von besonderer Wichtigkeit. Folgende Verfahren werden laut Norm beschrieben:

- mechanische Probenahme aus einem Fallstrom,
- mechanische Probenahme von einem laufenden Förderband,
- manuelle Probenahme von einem ruhenden Förderband,
- manuelle Probenahme aus einem Fallstrom,
- manuelle Probenahme aus einem Fahrzeug und
- manuelle Probenahme aus einer ruhenden Partie (Lager). [8]

Die Repräsentativität nimmt bei den Aufzählungen von oben bis unten ab.

Die **Mindestanzahl** der entnommenen **Einzelproben** muss laut ÖNORM 24 betragen. Es ist aber grundsätzlich immer möglich mehr Proben zu entnehmen. Die Einzelproben müssen über die gesamte Partie verstreut (z.B. nach dem Zufallsprinzip) entnommen werden. [8]

Unter dem **Proben-Mindestumfang** versteht man jene Menge der Probe, die im Hinblick auf die Repräsentativität erforderlich ist. Er kann laut Anhang D nach der folgenden Formel berechnet werden [8]:

$$m_m = \frac{\pi}{6} * d_{95}^3 * s * \lambda * g * \frac{(1-p)}{(C_v)^2 * p} \quad (1)$$

m_m	die Masse des Proben-Mindestumfangs [kg]
d_{95}	nominelle Siebgröße eines Partikels (95 % der Partikel sind kleiner als d_{95})
s	Formfaktor (beträgt 1)
λ	Teilchendichte [kg/m^3]
g	Verteilungsfaktor (beträgt 0,25)
p	Faktor (beträgt 0,1)
c_v	Variationskoeffizient (beträgt 0,1)

Die Werte der einzelnen Faktoren wurden bereits auf die Aufgabenstellung dieser Masterarbeit abgestimmt.

Im Anschluss musste auch noch der **Mindestumfang einer Einzelprobe** (Anhang F), in diesem Fall für eine ruhende Partie, bestimmt werden. Dazu können folgende Gleichungen verwendet werden [8]:

$$m(d_{95} > 3mm) = 2,7 * 10^{-8} * d_{95}^3 * \lambda_s \quad (2)$$

$$m(d_{95} < 3mm) = 1 * 10^{-6} * \lambda_s \quad (3)$$

m	Masse des Einzelproben-Mindestumfangs [kg]
d_{95}	nominelle Siebgröße eines Partikels (95 % der Partikel sind kleiner als d_{95})
λ_b	Schüttdichte des Materialstroms [kg/m ³]

Um den Probenahmeplan zu vervollständigen, muss zum Abschluss noch der **effektive Umfang von Einzelproben und Proben** ermittelt werden. Folgende Anforderungen müssen erfüllt sein:

- der effektive Umfang muss mindestens so groß wie der Mindestumfang einer Einzelprobe sein,
- der effektive Umfang muss hinreichend groß sein, um mit der Anzahl von Einzelproben eine Probe mit dem Proben-Mindestumfang zu erhalten und
- der effektive Umfang muss hinreichend groß sein, um eine ausreichend große Probe für die Analysen im Labor zu erhalten. [8]

Nach der erfolgreich durchgeführten Probenahme stellt die Verpackung, Konservierung, Aufbewahrung und der Transport der Probe eine erneute Herausforderung dar. Um mögliche chemische und physikalische Reaktionen zu vermeiden, müssen alle Proben an einem trockenen und gekühlten Ort in verschlossenen Behältern aufbewahrt werden. Eine möglichst kurze Lagerung der Probe ist auf jeden Fall anzustreben. [8]

2.4.2 ÖNORM 15443 - Feste Sekundärbrennstoffe - Verfahren zur Herstellung einer Laboratoriumsprobe

Ziel der Probenvorbereitung ist die Reduktion einer Probe in eine oder mehrere Prüfmengen die kleiner als die Ausgangsprobe sind. Während der einzelnen Schritte darf sich die Probe keinesfalls verändern. Sie muss weiter repräsentativ sein. Bei der Probenvorbereitung unterscheidet man zwischen zwei Verfahren:

- Probenteilung und
- Reduktion der Partikelgröße der Probe. [9]

Für die Probenteilung können Geräte wie Riffelteiler, Rotationsprobenteiler, Schaufeln und Probenahmeschaufeln eingesetzt werden. Eine Probenahmeschaufel muss einen flachen Boden und ausreichend hochgezogene Ränder aufweisen, um ein Abrollen der einzelnen

Partikel zu verhindern. Ebenso muss sie 3-mal so breit wie die nominelle Siebgröße des entnommenen Materials sein. [9]

Zur Reduktion der Partikelgröße können Grobschneidmühlen oder Holzbrecher (auf ca. 10 – 30 mm), Schneidmühlen (auf ca. 1 mm) oder Schredder (Grobzerkleinerung auf ca. 30 mm) verwendet werden. [9]

Auch eine Vortrocknung ist laut ÖNORM zulässig, um den Wasserverlust bei den anschließenden Prozessen zu verringern. Diese sollte in einem Trockenschrank bei maximal 40 °C erfolgen. [9]

In Abbildung 2 sind die drei wesentlichen Schritte einer Probenvorbereitung dargestellt.

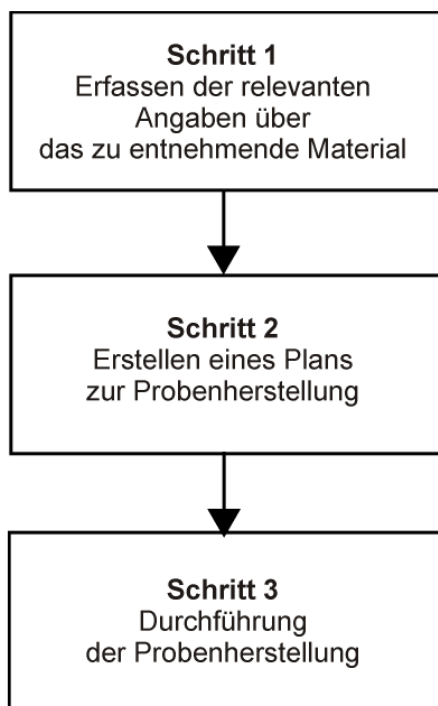


Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Probenvorbereitung [9]

Im **ersten Schritt** sind Informationen über das zu entnehmende Material einzuholen. Dazu zählen:

- Proben-Mindestumfang,
- tatsächlicher Umfang der Probe,
- nominelle Siebgröße,
- Formfaktor und
- Anforderungen in Bezug auf die Reduktion der Partikelgröße für die Analyse. [9]

Zu einem Großteil können die Informationen aus dem Probenahmeplan entnommen werden.

Im **zweiten Schritt** wird ähnlich wie bei der Probenahme ein Plan für die Probenvorbereitung erstellt. Dabei wird besonders auf die Probenteilung und auf die Reduktion der Partikelgröße eingegangen. Der Grad, bis zu dem eine Ersatzbrennstoffprobe vor Ort vorbereitet wird, ist

von den Einrichtungen, die vor Ort zur Verfügung stehen, von den Anforderungen des Labors und von den Prioritäten des Auftraggebers abhängig. Bei der Probenteilung soll eine Reduktion der Masse bewirkt werden. Die Reduktion der Partikelgröße hat die Reduktion der nominellen Siebgröße als Ziel. [9]

Beim **dritten Schritt** gilt es, den in Schritt zwei festgelegten Plan für die Probenvorbereitung in die Praxis umzusetzen. Dabei müssen anschließende Verfahrensweisen angewendet werden [9]:

- homogenisieren der Probe nach jedem Schritt,
- Sicherstellung, dass kein Material verloren geht,
- kein Auslassen von Bestandteilen (außer harte Materialien die die Mühle beschädigen würden) und
- zurückhalten von ausreichendem Probenmaterial für die Durchführung aller Analysen.

Die einzelnen Verfahren, welche im Rahmen dieser Masterarbeit eingesetzt wurden, sind im Kapitel 4 - Probenahme/Probenvorbereitung nachzulesen.

3 Ersatzbrennstoffe

Bei Ersatzbrennstoffen (EBS) kann es sich um feste, flüssige oder pastöse Abfälle handeln. Die zur Herstellung verwendeten Abfälle können aus Haushalten, Industrien oder aus Gewerbebetrieben stammen. Ersatzbrennstoffe werden aus mechanischen oder mechanisch-biologischen Aufbereitungsverfahren hergestellt. Ziel ist es, Regelbrennstoffe in Prozessen der Grundstoffindustrie und Kraftwerkindustrien zu ergänzen und wenn möglich zu ersetzen. Das Verfahren der Ersatzbrennstoffherstellung gibt es seit mehr als 30 Jahren. Schon 1980 entstand der Begriff BRAM (Brennstoff aus Müll). Es handelte sich dabei noch um völlig undefinierte Abfallgemische, deren Herkunft und Zusammensetzung unbekannt waren. Heute ist dieser Begriff nicht mehr gebräuchlich. Geläufiger sind die Ausdrücke Ersatz-, Substitut- oder Sekundärbrennstoff. [10], [11]

Laut Abfallverbrennungsverordnung werden Ersatzbrennstoffe wie folgt definiert:

„Ersatzbrennstoffe sind Abfälle, die zur Gänze oder in einem relevanten Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung eingesetzt werden und die die Vorgaben gemäß Anlage 8 erfüllen. Ein relevantes Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung liegt vor, wenn eine selbstgängige Verbrennung ohne Zusatzfeuerung möglich ist.“ [5]

3.1 Einteilung der Ersatzbrennstoffe

Nach ihrem Aufbereitungsaufwand lassen sich Ersatzbrennstoffe grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen:

1. Ersatzbrennstoffe, die bereits ohne einer zusätzlichen Aufbereitung einer Mitverbrennung zugeführt werden können. Zu dieser Gruppe zählen zum Beispiel Altholz, Altöl, Altreifen, Kunststoffe, Lösungsmittel sowie Tiermehle und Tierfette. [10]
2. Ersatzbrennstoffe, die aufgrund einer Mischerfassung vor der Mitverbrennung aufbereitet werden müssen. Diese Gruppe umfasst heizwertreiche Leichtfraktionen nach einer mechanischen Behandlung, heizwertreiche Fraktionen nach einer mechanischen und aeroben biologischen Behandlung, sowie heizwertreiche Fraktionen nach einer mechanischen und anaeroben biologischen Behandlung. Von einer heizwertreichen Fraktion spricht man dann, wenn der abgetrennte Abfall einen höheren Heizwert als der anfängliche Rohabfall besitzt. [10]

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird zusätzlich häufig zwischen Hot Disc (HD) Ersatzbrennstoffen und Main Burner (MB) Ersatzbrennstoffen unterschieden. Im Wesentlichen differenzieren sich diese zwei Typen durch ihre Korngröße und ihrem Einsatz (Einsatzort) in Mitverbrennungsanlagen. MB Ersatzbrennstoffe weisen eine geringere Korngröße bis ca. 30 mm auf und werden im so genannten Hauptbrenner eingesetzt. Bei HD Materialien kann sich die Korngröße bis zu 300 mm ausweiten und sie können in der Sekundärfeuerung von Zementwerken eingesetzt werden.

3.2 Beispiele von Ersatzbrennstoffen

Die Beschreibung aller für Ersatzbrennstoffe in Frage kommenden Abfälle würde mit Sicherheit den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Daher wird im Folgenden nur auf die wichtigsten und häufigsten EBS eingegangen.

Klärschlamm

Unter Klärschlamm versteht man im Allgemeinen Schlämme aus Kläranlagen, welche nach Durchlaufen von Rechen und Sandfang in den mechanischen und biologischen Behandlungsstufen anfallen und welche anschließend stabilisiert werden. Unterscheiden sollte man dabei zwischen Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Schlämmen, welche als Abfallprodukt nach einem Produktionsprozess anfallen. Industrielle Schlämme besitzen einen niedrigeren Heizwert als Schlämme aus der kommunalen Kläranlage und sie enthalten einen geringeren Anteil an organischen Stoffen. Der Heizwert ist stark von den organischen Bestandteilen des Klärschlammes abhängig. So kann bei der organischen Substanz ein Heizwert von 23 MJ/kg TS angenommen werden. Je nach Art und Herkunft enthält Klärschlamm unterschiedliche Mengen an Schwermetallen, welche zum Teil deutlich höher als jene in einem Regelbrennstoff sind. [12]

Tiermehl

Tiermehl entsteht bei der Beseitigung von nicht für die Schlachtung verwendeter Tierkörper und der Verarbeitung von Nebenprodukten aus Schlachtereien. Bei der Schlachtung eines Tieres fallen mehr als 30 % an Nebenprodukten (Knochen, Blut) an. Das Schüttgewicht des Mehles liegt je nach Qualität zwischen 300 – 700 kg/m³. Die Zusammensetzung variiert je nach Herkunft und Ausgangsmaterial, ebenso wie der Heizwert, der im Durchschnitt 15 – 18 MJ/kg TS beträgt. Schadstoffe sind im Tiermehl vernachlässigbar. [12]

Altreifen

Darunter versteht man Reifen, welche nicht mehr für den jeweiligen Einsatzzweck geeignet oder zugelassen sind. Sie werden gerne in Zementwerken in geschredderter Form eingesetzt. Altreifen besitzen einen Heizwert von ca. 29,5 MJ/kg TS. [13]

Substitutbrennstoffe

Unter Substitutbrennstoffe versteht man:

- Brennstoffe aus Siedlungsabfällen: Darunter versteht man die aufbereitete, hochkalorische Leichtfraktion aus dem Restmüll/Siedlungsabfall oder aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und
- Brennstoffe aus Gewerbeabfällen: Darunter versteht man aufbereitete Fraktionen aus produktionsspezifischen Abfällen. [12]

Diese Arten von Abfällen fallen in konventionellen Gewerbe- und Sperrmüllsortieranlagen oder in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) an. Des Weiteren muss in Betrieben der Holz-, Kunststoff- und Textilindustrie mit einem Anfall von produktionsspezifischen Abfällen gerechnet werden. Als wesentliche Inhaltstoffe haben sich

biogene/kompostierbare Abfälle herausgestellt. Der Heizwert für Substitutbrennstoffe aus Gewerbemüll beträgt ca. 23 MJ/kg TS, für Substitutbrennstoffe aus Siedlungsabfällen ca. 18 MJ/kg TS. [12]

Andere Beispiele für Ersatzbrennstoffe sind:

- Altöle,
- Tierfette,
- Althölzer,
- Lösungsmittel und
- Glycerin aus der Biodieselproduktion. [14]

3.3 Herstellung von Ersatzbrennstoffen

Sortenreine oder gemischte Abfälle (Siedlungsabfälle, Gewerbeabfälle, Produktionsabfälle) können bereits ohne eine spezielle Aufbereitung als Ersatzbrennstoffe in industriellen Mitverbrennungsanlagen eingesetzt werden. Hingegen stellen Siebüberläufe aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung nur ein Zwischenprodukt bei der späteren Ersatzbrennstoffproduktion dar. Durch Zerkleinerung, Windsichtung, Fe- und NE-Metallabscheidung kann ein mittelkalorischer EBS für Wirbelschichtanlagen hergestellt werden. 30 – 40 % des Inputs können in Ersatzbrennstoffe überführt werden. [1]

In der heutigen Industrie ist es von großer Bedeutung EBS mit definierter Qualität und garantierten Spezifikationen zu erzeugen. Dazu ist eine mehrstufige Aufbereitung notwendig, die aus folgenden Schritten besteht:

- Vorzerkleinerung,
- Störstoffabscheidung (z.B. durch einen Windsichter),
- Nachzerkleinerung und
- Konfektionierung (z.B. durch ein Sternsieb). [1]

In der nachfolgenden Abbildung 3 sind noch einmal alle Aufbereitungsschritte in anschaulicher Weise dargestellt.

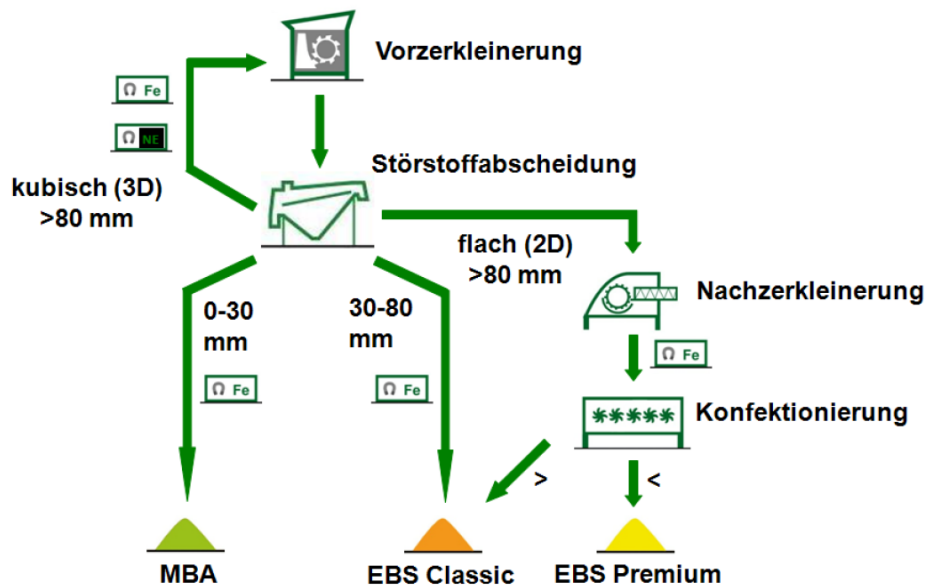


Abbildung 3: Schema einer Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlage aus Rest- und Gewerbemüll [1]

3.4 Eigenschaften der Ersatzbrennstoffe

Für die Herstellung von Ersatzbrennstoffen werden Abfälle aus der heizwertreichen Fraktion aus der Aufbereitung und Sortierung von Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Resten aus der Wertstoffsartierung (Holz, Papier, Textilien, Kunststoffe) und produktionsspezifische Abfälle aus Gewerbe und Industrie verwendet. Für die Beurteilung der Ersatzbrennstoffqualität sind folgende brennstofftechnische Eigenschaften zu betrachten:

- mechanische Eigenschaften,
- kalorische Eigenschaften,
- chemische Eigenschaften und
- reaktionstechnische Eigenschaften. [11]

Die **mechanischen Eigenschaften** umfassen z.B. die Dichte der brennbaren und nicht brennbaren Substanz, die Mahlbarkeit, die Korngrößenverteilung, die Schütteeigenschaften sowie die Zufuhr des Brennstoffes zur Anlage. [11]

Weiters wichtig für Ersatzbrennstoffe sind die **kalorischen Eigenschaften** wie Brennwert und Heizwert, spezifische Wärmekapazität, adiabate Verbrennungstemperatur, spez. Mindestluftbedarf, spez. Mindestabgasmenge, Wärmeleitfähigkeit und die Temperaturleitfähigkeit. [11]

Bei den **chemischen Eigenschaften** spielen hauptsächlich die Zusammensetzung der Ersatzbrennstoffe und vor allem die zu erwartenden Emissionen eine große Rolle. [11]

Ersatzbrennstoffe weisen je nach Herkunft eine heterogene und stark schwankende Zusammensetzung auf. Die Beurteilung der **reaktionstechnischen Eigenschaften** ist daher viel schwieriger als bei den Primärbrennstoffen. [11]

Eine exakte Beurteilung der brennstofftechnischen Eigenschaften von EBS ist heute meist nur auf Grundlage von empirischen Ergebnissen möglich. Kalorische Eigenschaften können aber bereits durch vereinfachte mathematische Modelle berechnet werden. [10]

3.5 Potentielle Abnehmer für Ersatzbrennstoffe

Grundsätzlich können Ersatzbrennstoffe in Prozessen der Grundstoffindustrie eingesetzt werden. Dazu zählen:

- die Bindemittelindustrie (Zementklinkerbrennprozess, Brennprozesse der Kalk- und Gips Herstellung, Asphaltmischprozess),
- die Eisen- und Stahlindustrie (Roheisenerzeugung, Sinterprozesse),
- Kraftwerke (Staubfeuerungen, Wirbelschichtfeuerungen) und
- Energieverwertungsanlagen (Rostfeuerungen, Vergasungsanlagen). [10]

Der Grund für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen in den genannten Prozessen ist in der Regel nicht die brennstofftechnische Eigenschaft sondern vielmehr ein wirtschaftliches Interesse. [10]

Vorteile beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Mitverbrennungsanlagen:

- bestehende Infrastruktur,
- Einsparung von Deponievolumen,
- Substitution der Primärenergieträger und
- klimaneutral (z.B. Klärschlamm, Biomasse). [15]

Nachteile beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Mitverbrennungsanlagen:

- höherer Schadstoffeintrag,
- vermehrte Korrosionsbildung (K, Na, Cl, S),
- zusätzliche Einrichtungen sind notwendig (Investitionen),
- Verschlechterung der Reststoffqualität,
- nur geringe Qualitätsschwankungen sind zulässig und
- größeres Brennstoffvolumen. [15]

Im Bereich der Bindemittelindustrie werden die EBS in größeren Mengen in **Zementwerken** eingesetzt. Von der österreichischen Zementindustrie wurde unter Berücksichtigung existierender Genehmigungen eine „freiwillige Selbstverpflichtung“ zum Einsatz von Abfällen in Zementwerken erstellt. Folgende Abfälle können nach dieser Selbstverpflichtung verbrannt werden:

- Abfälle der Abfallliste (Papier und Klärschlamm, Altöle, Lösemittel und Altlacke, Kunststoffe, heizwertreiche Fraktionen, Altholz und Altreifen) wenn sie bestimmte Voraussetzungen erfüllen,
- Abfälle, welche nicht auf der Liste enthalten sind, bis zu einer Menge von 10 t/a, wenn sie im selben Unternehmen anfallen und
- Abfälle, die unerwartet anfallen und bei denen ein öffentliches Interesse an einer umweltgerechten Entsorgung gegeben ist. Alle technischen und rechtlichen Voraussetzungen müssen dabei erfüllt sein. [16]

Zusätzlich werden in der „freiwilligen Selbstverpflichtung“ allgemeine Anforderungen an EBS und Emissionen geregelt. [16]

Nachstehende Kriterien müssen im Bereich der Emissionen unbedingt erfüllt sein:

- keine Verschlechterung der aktuellen Emissionssituation,
- eine Abweichung der Schwermetallbelastung im Abfall von den Grenzwerten ist nur dann zulässig, wenn durch Mengenbegrenzung die Emissionssituation nicht verschlechtert wird und
- eine Zunahme der Hg Emissionen soll möglichst verhindert werden. [16]

Anzumerken ist, dass aus technischer Sicht der Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Zementwerken sowohl als thermische Behandlung, als auch als stoffliche Verwertung (die bei der Verbrennung anfallende Asche wird in den Klinker eingebunden) bezeichnet werden kann. [1]

Ein mindestens genauso interessantes Einsatzgebiet für Ersatzbrennstoffe ist die **Eisen- und Stahlindustrie**. In diesem Industriebereich werden EBS (Kunststoffpellets, die aus Gewerbemüll, aus aufbereitetem MBA-Material und aus gemischten Kunststoffverpackungen bestehen) anstelle von Koks oder Heizöl als Reduktionsmittel eingesetzt. Dabei werden sie in den Hochofen eingeblasen. [1]

In **Kohlekraftwerken** haben sich vor allem Tiermehle, Tierfette, Klärschlämme und Substitutbrennstoffe als geeignet herausgestellt. Zu beachten ist, dass durch den Einsatz dieser Abfälle Schäden infolge von Korrosion, Verschlackung, Ablagerung und Katalysatorvergiftung sowie durch Brand- und Explosionsereignisse entstehen können. [12]

3.6 Qualitätskriterien für Ersatzbrennstoffe

Je nach Branche werden unterschiedliche Qualitätsanforderungen an Ersatzbrennstoffe gestellt. Im Wesentlichen spielen folgende Punkte eine wichtige Rolle:

- gleichförmige Qualität,
- ausreichende Verfügbarkeit,
- sicheres und sauberes Handling und Zudosieren,
- kein Einfluss auf die Produktqualität,

- ofenspezifische Eignung,
- hoher Heizwert,
- geringer Chlorgehalt,
- Akzeptanz der Bevölkerung und
- Kosteneinsparung des Primärbrennstoffes. [14]

In Abbildung 4 ist der Zusammenhang zwischen Heizwert und Korngröße verschiedener Ersatzbrennstoffe zusammen mit dem Einsatzort ersichtlich.

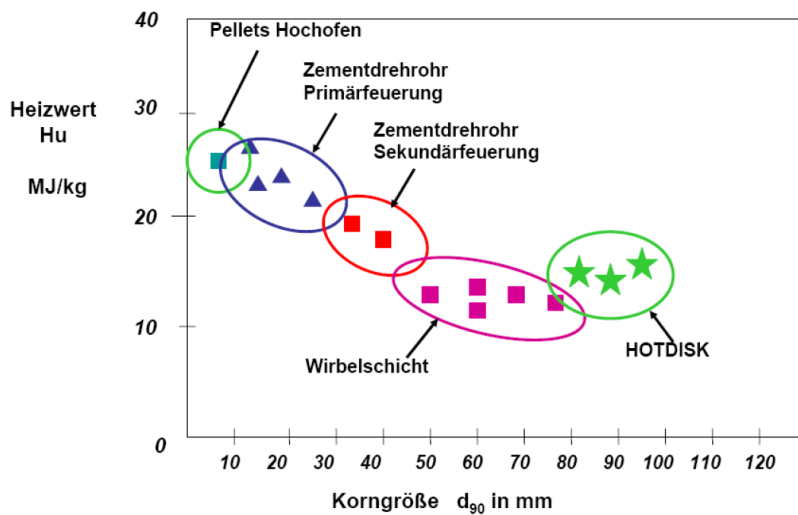


Abbildung 4: Einsatzbereiche unterschiedlicher Ersatzbrennstoffe in Abhängigkeit von der Korngröße und vom Heizwert [14]

Teilweise ist es nicht einfach das Material ohne betriebliche Probleme in den jeweiligen Feuerraum einzubringen. Des Weiteren stellt auch der Prozess selbst gewisse Anforderungen an Ersatzbrennstoffe. Prinzipiell sind Korrosionsprobleme zu vermeiden, die Reisezeiten der Aggregate dürfen nicht verkürzt und die Abgasreinigungseinrichtungen dürfen in ihrer Leistungsfähigkeit nicht geschädigt werden. Im Anschluss wird auf die Anforderungen in den einzelnen Einsatzbereichen näher eingegangen. [17]

Zementwerke

In Zementwerken können Ersatzbrennstoffe in der Primär- oder der Sekundärfeuerung eingesetzt werden. In der Primärfeuerung werden sehr hohe Temperaturen erreicht. Daher können hier nur Ersatzbrennstoffe mit einem hohen Heizwert (> 20 MJ/kg) mitverbrannt werden. Unterhalb dieses Heizwertes würde unter anderem der Bedarf an Regelbrennstoff deutlich ansteigen. In der Sekundärfeuerung werden keine bestimmten Anforderungen an den Heizwert vorausgesetzt. Zusätzlich zum Heizwert werden auch Anforderungen an die Schadstoffbelastung gestellt. Als problematisch haben sich vor allem die Elemente Quecksilber, Chrom und Chlor (bzw. Chlorid) herausgestellt. Da es sich bei Quecksilber um ein flüchtiges Schwermetall handelt, kann es zu Problemen mit den Reingasgrenzwerten führen. Durch ein erhöhtes Vorkommen an Chlorid ist es möglich, dass im

Klinkerbrennprozess betriebliche Probleme entstehen. Beim Umgang mit Zement ist bei Chrom bzw. Chromat mit Arbeitsschutzproblemen zu rechnen. Werden nun Ersatzbrennstoffe in Zementwerken eingesetzt, so ist auch eine Erweiterung der Rauchgasreinigung mit Katalysator, Gewebe- und Aktivkohlefilter erforderlich. Ein weiteres Anforderungskriterium an den eingesetzten Abfall ist eine hohe Homogenität und eine gewisse Korngröße, um ihn optimal in den Prozess einbringen zu können. Zusätzlich müssen etwaige Störstoffe (z.B. Metallteile) unbedingt vorher entfernt werden, da sie sonst zu Störungen im gesamten Prozess führen könnten. [17]

Kraftwerke

In Kraftwerksprozessen können Ersatzbrennstoffe mit einem geringeren Heizwert ($> 11 \text{ MJ/kg TS}$) eingesetzt werden. Chlor bzw. Chlorid stellt auch in diesem Einsatzbereich ein großes Problem dar. Durch die Abkühlung der Verbrennungsgase kondensieren Alkalichloride auf den Heizflächen des Dampferzeugers und erhöhen so die Korrosionspotentiale der Regelbrennstoffe erheblich. Bei Quecksilber gelten ähnliche Rahmenbedingungen wie beim Zementprozess. Auch hier spielt die Reisezeit des Katalysators eine große Rolle. Elemente wie z.B. Arsen können problematisch sein, da sie zu einer Verkürzung dieser führen können. Je nach unterschiedlichen Feuerungsanlagen schwanken die physikalischen Anforderungen an die Ersatzbrennstoffe. Die höchste Anforderung stellt mit Sicherheit die Staubfeuerung dar. Korngrößen von teilweise wenigen Millimetern werden hier vorausgesetzt. Eine Gefahr stellt die Verunreinigung des unverbrannten Restes durch EBS dar, da dadurch die Verwertungsmöglichkeit und somit eine zusätzliche Einnahmequelle nicht mehr möglich ist. Bei der Schmelzkammerfeuerung ist ein sehr feinkörniges, stoffstoffbefreites und homogenes Material Voraussetzung. Die Anforderungen sind aber generell nicht so hoch wie bei der Schmelzkammerfeuerung. Die geringsten Anforderungen an das aufbereitete Material stellt die Wirbelschichtfeuerung. Hier können Ersatzbrennstoffe mit einer Korngröße bis zu 100 mm eingesetzt werden. Ein geringer Chlorgehalt ist auch hier Grundvoraussetzung. [17]

Eisen- und Stahlindustrie

In der Eisen- und Stahlindustrie werden Ersatzbrennstoffe als Reduktionsmittel in Hochöfen eingesetzt. Zu viel Quecksilber kann sich problematisch auf die gesetzlich vorgegebenen Reingaswerte auswirken. Zusätzlich müssen folgende Qualitätsanforderungen erfüllt sein: Korngröße $< 5 \text{ mm}$, Homogenität des eingesetzten Abfalls, ausreichender Kohlenwasserstoffgehalt, limitierter Asche- und Kupfergehalt und alle technischen Voraussetzungen müssen durch einen Umbau gewährleistet sein. [17]

Alle anderen sonstigen Verwertungsverfahren weisen in der Regel ihr eigenes Anforderungsprofil auf.

Zusammenfassend kann nun gesagt werden, dass die Ansprüche an Ersatzbrennstoffe je nach Industriebereich sehr unterschiedlich ausfallen. Dennoch ist aus den einzelnen Branchen ersichtlich, dass nur aufbereitete Abfälle für den Einsatz in Mitverbrennungsanlagen geeignet sind. [17]

3.7 Potentielle Risiken mit Ersatzbrennstoffen

Da es sich bei EBS um Abfall dessen Zusammensetzung ständig variiert handelt, ist es fast schon selbstverständlich, dass dessen Einsatz zu Problemen führen kann. Erwähnenswert ist das **Brandrisiko bei der Lagerung**. Um eine ständige Verfügbarkeit des Abfalls garantieren zu können, ist eine Zwischenlagerung bzw. Lagerung von Ersatzbrennstoffen (meist ein Jahreszwölftel des Inputs) notwendig. Erfahrungsgemäß werden Ballenlager, folierte Rundballen, Schüttgutlager oder Produktlager eingesetzt. EBS haben ein erhöhtes Selbstentzündungspotential, welches durch die natürlichen mikrobiologischen Abbauvorgänge und der damit verbundenen Temperaturerhöhung bei der Lagerung zu Bränden führen kann. Die Wahl des Lagers, die Wärmeabfuhr, der Sauerstofftransport und die Materialeigenschaft beeinflussen das Selbstentzündungspotential zusätzlich. Daher ist es von enormer Wichtigkeit Brandmeldeanlagen einzubauen, sowie entsprechende brandschutztechnische und bauliche Maßnahmen zu ergreifen. [1]

Da Abfall einen hohen Chlorgehalt und einen niedrigen Schwefelgehalt aufweist, muss bei der Verbrennung immer mit **Korrosionen** bzw. mit einem erhöhten Korrosionsrisiko gerechnet werden. Des Weiteren versucht der Anlagenbetreiber durch hohe Dampfparameter bei seiner Anlage eine gute Energieeffizienz zu erreichen. Dadurch steigt das Korrosionsrisiko zusätzlich. Die Ursache für den hohen Chlorgehalt ist das PVC (Polyvinylchlorid), welches durch die Kunststofffraktion in die Anlage eingetragen wird. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen müssen strenge Grenzwerte bezüglich des Chlorgehaltes eingehalten werden bzw. können zusätzlich Chlorbypassanlagen in Zementwerken eingesetzt werden. [1]

4 Probenahme/Probenvorbereitung

Gemäß Ziffer 2.14 Anlage 8 der Abfallverbrennungsverordnung muss der Inhaber einer Mitverbrennungsanlage die Einhaltung der Anforderungen dieser Anlage durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt mindestens einmal pro Jahr überprüfen lassen. [5] Aus diesem Anlass wurde der Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben von einem Unternehmen beauftragt, diese vorgeschriebene Überprüfung für die eingesetzten Ersatzbrennstoffe durchzuführen und eine entsprechende Bewertung zu erstellen. In der Tabelle 5 sind alle Unternehmen bei denen eine externe Überprüfung durchgeführt wurde aufgelistet. Um eine Anonymität der einzelnen Unternehmen zu gewährleisten, wurden die Firmen nicht namentlich erwähnt. Bei allen Anlagen handelt es sich um sogenannte Splittinganlagen. Beim Material wird zwischen Hot Disc (HD) Material und Main Burner (MB) Material unterschieden.

Tabelle 5: Unternehmen bei denen eine Probenahme durchgeführt wurde

Bezeichnung	Materialart	Anlagenart
Unternehmen 1	HD	Splittinganlage
Unternehmen 2	HD	Splittinganlage
Unternehmen 2	MB	Splittinganlage
Unternehmen 3	HD	Splittinganlage
Unternehmen 3	MB	Splittinganlage
Unternehmen 4	HD	Splittinganlage
Unternehmen 4	MB	Splittinganlage
Unternehmen 5	HD	Splittinganlage
Unternehmen 5	MB	Splittinganlage
Unternehmen 6	HD	Splittinganlage
Unternehmen 7	HD	Splittinganlage
Unternehmen 8	MB	Splittinganlage

Für jede Anlage und für jeden Materialstrom wurde im Rahmen der Probenahme ein Fließbild erstellt. Anhand dessen können alle Aufbereitungsschritte genau rückverfolgt und für die spätere Auswertung herangezogen werden. Ein beispielhaftes Fließbild ist im Anschluss an diese Masterarbeit im Anhang angeführt. Als Inputmaterialien verwenden die einzelnen Firmen hauptsächlich Gewerbemüll, Sperrmüll, Hausmüll, Baustellenabfälle und Mischkunststoffe.

4.1 Probenahme - Durchführung

Unter einer Probenahme versteht man die Entnahme von Teilmengen aus einer Grundgesamtheit, um Informationen über dessen Zusammensetzung zu erhalten. Das zuvor erstellte Probenahmekonzept wurde jeweils vor Ort von Mitarbeitern des Lehrstuhls für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft umgesetzt. Die Vorgehensweise, die Anzahl der gezogenen Stichproben sowie die zu erstellenden qualifizierten Stichproben wurden

gesetzeskonform im Sinne der Abfallverbrennungsverordnung durchgeführt. [5] Jede Probenahme erfolgte am Ende des Abfallbehandlungsprozesses von einem Abfallhaufen (= ruhende Partie) in einer überdachten Halle. Das Probenahmegerät stellte eine einfache Probenahmeschaufel dar. Aus der ÖNORM 15442 – Anhang F wurde in Abhängigkeit vom Größtkorn die Mindestprobenmenge berechnet (vgl. Kapitel 2.4.1.) Die Proben wurden per Zufallsprinzip aus unterschiedlichen Tiefenstufen aus dem Abfallhaufen gezogen und in geschlossenen Kunststoffkübeln und Kunststoffsäcken zu qualifizierten Stichproben vereinigt (vgl. Abbildung 5). Durch eine Beschriftung der Aufbewahrungsgefäße ist eine Reproduzierbarkeit der einzelnen Ersatzbrennstoffproben gewährleistet. Jede qualifizierte Stichprobe wird anschließend bei 40 °C ca. eine Woche im Trockenschrank getrocknet.



Abbildung 5: Probenahme

Zusätzlich wurden für alle Proben Probenahmepläne und Probenahmeprotokolle angefertigt. Der Probenahmeplanung von Abfällen kommt eine besondere Bedeutung zu, da eine falsche Probenahme zu vollkommen falschen Ergebnissen führen kann. Laut Abfallverbrennungsverordnung müssen pro qualifizierte Stichprobe 6 – 10 Stichproben gezogen werden. [5] Im Rahmen dieses Untersuchungsverfahrens wurden also immer sechs Stichproben genommen. Die Werte für die Schüttdichten wurden aus dem Report Part A von DI Aldrian und DI Sarc [18] übernommen. In der Tabelle 6 sind die ermittelten Mindestprobenmengen sowie die tatsächlich genommenen Proben für die einzelnen Firmen dargestellt.

Tabelle 6: ermittelte Probenahmemengen und tatsächlich genommene Probe

Firma	Schüttdichte [kg/m ³] [18]	Größtkorn [mm]	effektive Menge einer Stichproben [kg]	effektive Menge einer qualifizierten Stichprobe [kg]	tatsächlich genommene Probe
Unternehmen 1 (HD)	142	90	2,80	16,77	28,80
Unternehmen 2 (HD)	142	70	1,32	7,89	7,90
Unternehmen 2 (MB)	104	35	0,12	3,61	4,70
Unternehmen 3 (HD)	142	100	3,83	23,00	25,30
Unternehmen 3 (MB)	104	35	0,12	3,61	5,50
Unternehmen 4 (HD)	142	60	0,83	4,97	4,10
Unternehmen 4 (MB)	104	30	0,08	2,27	4,40
Unternehmen 5 (HD)	142	60	0,83	4,97	15,30
Unternehmen 5 (MB)	104	40	0,18	5,39	9,10
Unternehmen 6 (HD)	142	100	3,83	23,00	13,70
Unternehmen 7 (HD)	142	80	1,96	11,78	12,38
Unternehmen 8 (MB)	104	30	0,08	2,27	7,04

Als Vorlage für das Probennahmeprotokoll diente der Anhang A der ÖNORM S 2127: Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen. Als Beispiel eines solchen Protokolls wurde eines der Firma 1 im Anhang dieser Masterarbeit beigefügt.

4.2 Probenvorbereitung für chemische Analysen

Um aus der qualifizierten Stichprobe eine Laborprobe herstellen zu können, musste jede Probe zerkleinert, homogenisiert, von Störstoffen befreit und verjüngt werden. Dazu wurden die HD Proben mit einem Doppelwellenzerkleinerer zuerst auf 30 mm zerkleinert. Da die Masse für eine Laborprobe viel zu groß ist, muss diese noch eingeengt werden. Dazu wurde die Viertelmethode verwendet. In diesem Verfahren erfolgt die Probeneinengung mittels Mischkreuzverfahren. Die zerkleinerte Probe wird dafür kegelförmig auf einen sauberen Untergrund aufgebracht und in vier gleich große Teile geteilt (vgl. Abbildung 6). Es werden immer zwei gegenüberliegende Vierteln zur Weiterverwendung herangezogen, die zwei anderen Viertel werden verworfen. Die zwei ausgewählten Viertel werden wieder homogenisiert und erneut zu einem Kegel aufgeschüttet. Die Probe wird anschließend wieder in vier gleich große Teile gegliedert. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis nur mehr die benötigte Menge für eine Laborprobe übrig bleibt. Nach dem Aussortieren der Störstoffe werden die einzelnen Laborproben weiter mit einer Schneidmühle auf eine Korngröße von 0,5 mm zerkleinert. Im Anschluss kann die chemische Analyse erfolgen bzw.

ist es möglich Rückstellproben, welche laut AVV mindestens ein Jahr aufbewahrt werden müssen, zu bilden.



Abbildung 6: Doppelwellenzerkleinerer – Probenverjüngung – Schneidmühle

In der nachfolgenden Abbildung 7 ist das komplette Probenahme- und Aufbereitungskonzept graphisch, für eine bessere Nachvollziehbarkeit, dargestellt.

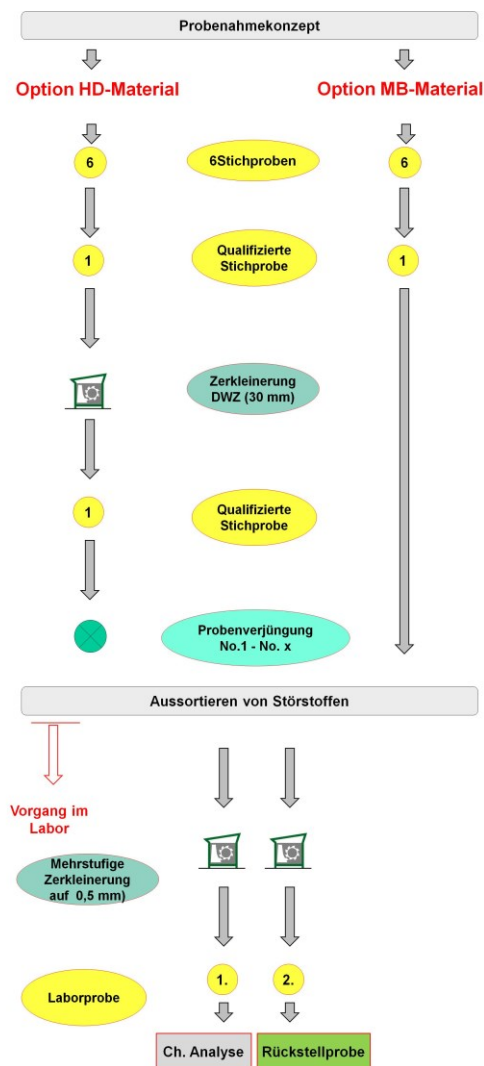


Abbildung 7: Probenahme- und Aufbereitungskonzept [19]

4.3 Probenvorbereitung für Sieb- und Sortieranalysen

Ein Ziel dieser Masterarbeit war es, jeweils 2 – 3 kg an Ersatzbrennstoffprobe pro Firma und Qualität zu trocknen, um mit der getrockneten Probe anschließend Sieb- und Sortierversuche durchführen zu können. Eine Trocknung wurde durchgeführt, um für alle Proben eine einheitliche Ausgangslage zu schaffen. In diesem Zusammenhang konnte auch der Gewichtsverlust während der Trocknung bestimmt werden (vgl. Tabelle 7). Bei den ermittelten Massen wurde jeweils die Masse der Gefäße abgezogen. Die einzelnen Proben wurden für ungefähr 5 Tage bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet (vgl. Abbildung 8).

Tabelle 7: Gewichtsverlust bei der Trocknung

	Gewicht vor der Trocknung [g]	Gewicht nach der Trocknung [g]	Gewichtsverlust [g]	Gewichtsverlust [%]
Unternehmen 1 (HD)	3.009,9	2.247,7	762,2	25,3
Unternehmen 2 (HD)	3.050,9	2.476,6	574,3	18,8
Unternehmen 2 (MB)	3.034,6	2.731,5	303,1	10,0
Unternehmen 3 (HD)	2.750,3	1.997,5	752,8	27,4
Unternehmen 3 (MB)	2.924,8	2.036,9	887,9	30,4
Unternehmen 4 (HD)	3.016,6	2.654,1	362,5	12,0
Unternehmen 4 (MB)	3.149,6	2.633,1	516,5	16,4
Unternehmen 5 (HD)	3.510,1	2.562,0	948,1	27,0
Unternehmen 5 (MB)	3.410,1	2.450,4	959,7	28,1
Unternehmen 6 (HD)	3.732,8	3.062,9	669,9	17,9
Unternehmen 7 (HD)	3.075,9	2.364,2	711,7	23,1
Unternehmen 8 (MB)	2.696,1	2.408,4	287,7	10,7



Abbildung 8: Trockenschrank und Proben bei der Trocknung

5 Chemische Analysen

Um beurteilen zu können, ob die gezogenen Ersatzbrennstoffproben alle Grenzwerte laut Abfallverbrennungsverordnung erfüllen, sind eine Vielzahl von chemischen Analysen notwendig. Auch eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Proben kann damit gewährleistet werden. In diesem Kapitel wird auf die Bestimmungsverfahren der Spurenelemente, der Heiz- und Brennwerte und der Trockenrückstände näher eingegangen. Ebenso sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen ersichtlich. Alle chemischen Analysen wurden im Labor für Umwelt- und Prozessanalytik an der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

5.1 Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Spurenelementen (Sb, As, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Tl und Hg)

Laut Abfallverbrennungsverordnung (AVV) spielen die Elemente Sb, As, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Tl und Hg als Grenzwerte beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen eine wesentliche Rolle. Daher werden in diesem Kapitel die Bestimmungsmethoden dieser Spurenelemente laut ÖNORM EN 15411 betrachtet.

Eine Bestimmung der Spurenelemente in festen Brennstoffen ist aus umweltbezogenen und technischen Gründen sowohl in der Produktions- als auch in der Verbrennungsstufe wichtig. Die festen Sekundärbrennstoffe können durch drei verschiedene Verfahren aufgeschlossen werden:

- Mikrowellenaufschluss,
- Aufschluss im Warmwasserbad oder
- Aufschluss im Ofen. [20]

Prinzipiell versteht man unter einem Aufschluss das Auflösen des mineralischen Anteils einer Probe (mehr oder wenig vollständig) durch eine Reaktion mit einer Reagenzmischung. Die Bestimmung der Elemente Sb, As, Cd, Pb, Cr, Co, Tl und Ni erfolgt anschließend durch eine optische Emissionsspektrometrie, einer Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma oder mit einer Graphitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie. Quecksilber kann durch ein direktes Analysenverfahren oder durch einen Mikrowellenaufschluss bestimmt werden. Um Verluste von Quecksilber und anderen flüchtigen Substanzen zu vermeiden, sollte man ein Aufbereitungsverfahren wählen, bei dem sich die Temperatur des Materials auf nicht mehr als 40 °C erhöht. Die dazu verwendeten Reagenzien müssen dafür geeignet und analysenrein sein. Beispiele für Reagenzien sind Wasser der Qualität 1, Salpetersäure, Fluorwasserstoffsäure, Perchlorsäure und Salzsäure. Des Weiteren müssen unbedingt alle möglichen Quellen einer Verunreinigung vermieden werden. Die Sekundärbrennstoffprobe sollte wenn möglich in Behältern aus Kunststoff aufbewahrt und geliefert werden. Die Prüfmenge ist aus der Laborprobe herzustellen und die Zielgröße sollte bei dem vorliegenden Verfahren ≤ 1 mm betragen. Der Umfang der Prüfmenge liegt zwischen 0,2 g – 0,5 g. [20]

Im nachfolgenden Absatz wird nun der im Labor für Umwelt- und Prozessanalytik an der Montanuniversität Leoben durchgeführte Mikrowellenaufschluss näher beschrieben.

Zwischen 0,2 g und 0,5 g der hergestellten Probe sind auf 0,1 mg einzuwiegen und in ein geeignetes Gefäß zu überführen. In den Mikrowellengeräten erfolgt die Erzeugung von Wärme durch Mikrowellen. In der Probe führt dies zu einer Rotation von Dipolen und zu einer Wanderung der gelösten Ionen im elektromagnetischen Feld. Eine Eigenerwärmung ist die Folge. Dadurch ist eine gleichmäßige Wärmeübertragung gewährleistet. Um bei höheren Temperaturen auch in flüssiger Phase arbeiten zu können, ist zusätzlich ein hoher Druck in der Mikrowelle notwendig. [20]

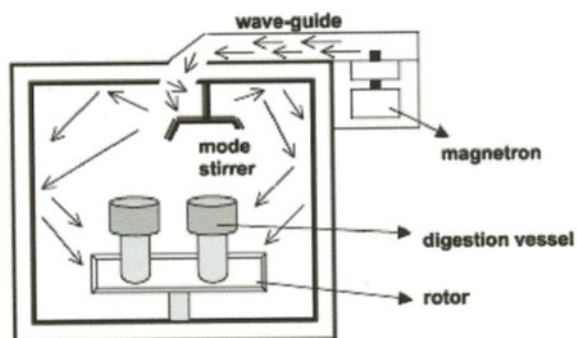


Abbildung 9: Funktionsweise einer Mikrowelle [22]

Nachdem die Proben abgekühlt sind, werden sie in geeignete Messkolben überführt. Etwaige Rückstände können durch Filtration oder durch eine Zentrifuge abgetrennt werden. Die genaue Zusammensetzung kann mit einer Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) ermittelt werden. Falls eine signifikante Menge eines bedeutenden Elements nachgewiesen wird, muss ein zusätzliches Aufschlussverfahren zum Auflösen des verbleibenden Materials angewendet werden. [22]

Analyse der Aufschlusslösung

Die Probe muss vorher zentrifugiert oder gefiltert werden, wenn sie Partikel enthält die den Zerstäuber des Messgerätes verstopfen könnten oder wenn sie die Injektion der Probe stören würden. Bei der Analyse der Aufschlusslösung können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden:

- Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS),
- Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie (GF-AAS),
- Atomabsorptionsspektrometrie mit Kaltdampftechnik (CV-AAS) und
- die direkte Analyse von Quecksilber. [20]

Die erhaltenen Ergebnisse müssen auf wasserfreier Bezugsbasis in mg/kg angegeben werden. Um mögliche Verunreinigungen ausschließen zu können ist es sehr empfehlenswert Leerwertversuche durchzuführen. [20]

5.1.1 Ergebnisse der Gehalte an Spurenelemente

Bei allen eingegangenen Proben handelte es sich um ungekühlten Abfall unterschiedlicher Korngröße, der in einem Kunststoff sack oder in einer Kunststofftonne transportiert wurde. Bei allen Proben wurde ein Totalaufschluss nach ÖNORM EN 15411:2011 durchgeführt. Für die Quecksilberbestimmung musste die Probe bei 40 °C getrocknet werden. Die Probenaufbereitung erfolgte, wie im vorigen Kapitel erwähnt, mittels einem Doppelwellenzerkleinerer. Tabelle 8 beinhaltet die Mengen an Spurenelementen in mg/kg TS, welche aus den zwölf Ersatzbrennstoffproben der unterschiedlichen Firmen ermittelt werden konnten.

Tabelle 8: Ergebnisse der untersuchten Spurenelemente

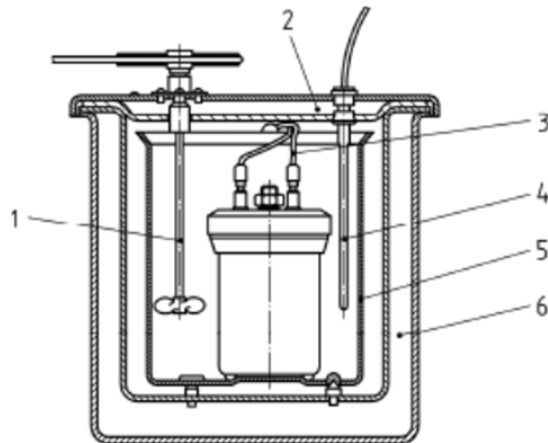
	Antimon mg/kg TS	Cadmium mg/kg TS	Chrom, gesamt mg/kg TS	Cobalt mg/kg TS	Nickel mg/kg TS	Quecksilber mg/kg TS	Arsen mg/kg TS	Blei mg/kg TS
Unternehmen 1 (HD)	19	0,4	100	20	75	< 0,25	< 2,5	78
Unternehmen 2 (HD)	77	1,1	34	4,6	10	< 0,25	< 2,5	300
Unternehmen 2 (MB)	180	1,4	97	4,2	8,5	< 0,25	2,8	93
Unternehmen 3 (HD)	19	7,7	70	5,1	38	0,32	7,9	85
Unternehmen 3 (MB)	26	0,71	120	5,8	18	0,4	2,4	200
Unternehmen 4 (HD)	207	7,3	190	4,6	18	< 0,25	< 2,5	210
Unternehmen 4 (MB)	39	1,1	26	4,7	9,9	< 0,25	< 2,5	63
Unternehmen 5 (HD)	18	0,58	58	4,4	16	2,6	6,3	130
Unternehmen 5 (MB)	140	4,4	160	8,5	33	2,1	8,1	420
Unternehmen 6 (HD)	26	1	230	6,1	30	< 0,25	< 2,5	55
Unternehmen 7 (HD)	24	1,1	41	4,7	57	0,3	6,1	66
Unternehmen 8 (MB)	220	7,8	200	12	22	0,26	2,5	210

Um überprüfen zu können, ob alle Unternehmen die aktuellen Grenzwerte laut Abfallverbrennungsverordnung einhalten, müssen die einzelnen Ergebnisse mit Hilfe des Heizwertes in mg/MJ umgerechnet werden (vgl. Kapitel 9.1).

5.2 Bestimmung von Brennwert und Heizwert

Bei der Bestimmung des Brennwertes wird eine eingewogene Menge an Probe in Sauerstoff unter hohem Druck in einem Bombenkalorimeter verbrannt (vgl. Abbildung 10). Dabei wird die effektive Wärmekapazität des Kalorimeters durch Benzoesäure bei der Kalibrierung bestimmt. Ebenso wird der berichtigte Temperaturanstieg durch Beobachtung der Temperatur ermittelt. Zu Beginn wird in das Bombenkalorimeter Wasser eingefüllt. Dadurch wird garantiert, dass vor der Verbrennung eine gesättigte Dampfphase vorliegt. So ist es wiederum möglich, dass das in der Brennstoffprobe vorhandene und das bei der

Verbrennung gebildete Wasser insgesamt in einem flüssigen Zustand vorliegt. Der Brennwert lässt sich aus dem berichtigen Temperaturanstieg und der effektiven Wärmekapazität, unter Berücksichtigung der Beiträge durch die Zündenergie und der Wärmewirkung aus Nebenreaktionen, bestimmen.



Legende

- | | |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1 Rührer (6.2.3) | 4 Thermometer |
| 2 Deckel für den Thermostaten | 5 Kalorimetergefäß (6.2.2) |
| 3 Zündkabel | 6 Thermostat (6.2.4) |

Abbildung 10: Bombenkalorimeter

Die Heizwerte können sowohl bei konstantem Volumen als auch bei konstantem Druck aus den bestimmten Brennwerten bei konstanten Volumen berechnet werden. Bei den Heizwerten bei konstanten Volumen sind Angaben über den Wasser- und Wasserstoffgehalt der Analysenprobe notwendig. Will man den Heizwert bei konstantem Druck berechnen, so benötigt man Angaben über den Sauerstoff- und Stickstoffgehalt.

In der Tabelle 9 sind die ermittelten Heizwerte bezogen auf die Originalsubstanz (OS) und auf die Trockensubstanz (TS), sowie die Brennwerte der einzelnen Ausgangsproben dargestellt.

Tabelle 9: Brennwert und Heizwerte der Ersatzbrennstoffproben

	Brennwert (Ho) kJ/kg TS	Heizwert (Hu) kJ/kg OS	Heizwert (Hu) kJ/kg TS
Unternehmen 1 (HD)	23.000	14.700	21.200
Unternehmen 2 (HD)	23.000	16.800	21.200
Unternehmen 2 (MB)	24.000	19.300	22.100
Unternehmen 3 (HD)	20.800	12.800	19.100
Unternehmen 3 (MB)	27.200	16.700	25.000
Unternehmen 4 (HD)	23.700	18.700	21.800
Unternehmen 4 (MB)	30.100	23.100	27.700
Unternehmen 5 (HD)	20.200	12.300	18.600
Unternehmen 5 (MB)	23.300	14.700	21.500
Unternehmen 6 (HD)	21.600	15.500	19.900
Unternehmen 7 (HD)	23.300	14.700	21.200
Unternehmen 8 (MB)	28.000	22.500	25.400

5.3 Bestimmung des Trockenrückstandes

Laut Definition versteht man unter einem Trockenrückstand den erhaltenen Massenanteil an fester Substanz den man nach einem festgelegten Trocknungsverfahren erreicht. Die Bestimmung erfolgt laut EN 12880:2000 in einem Wärmeschrank. Eine leere Schale wird dabei zu Beginn des Versuches auf 1 mg genau abgewogen. Die Menge der einzuwiegenden Probe schätzt man nach dem zu erwartenden Wassergehalt ab. Es wird genau so viel eingewogen, dass die erhaltene Trockenmasse mindestens 0,5 g beträgt. Anschließend wird die Schale mit der Probe bei 105 °C in einem Wärmeschrank so lange getrocknet bis der Rückstand als trocken erscheint. Danach wird die Probe in einem Exsikkator abgekühlt und anschließend erneut gewogen. Die Masse des Trockenrückstandes wird als konstant angesehen, wenn nach einer zusätzlichen einstündigen Trocknung die Masse um nicht mehr als 0,5 % oder 2 mg vom ursprünglichen Wert abweicht. Ansonsten muss die Trocknung wiederholt werden. [21]

Im Anschluss kann der Trockenrückstand (w_{dr}) nach folgender Gleichung berechnet werden [21]:

$$w_{dr} = (m_c - m_a)/(m_b - m_a) * f \quad (7)$$

w_{dr}	Trockenrückstand [% oder g/kg]
m_a	Masse der leeren Schale [g]
m_b	Masse der Schale und der Probe vor der Trocknung [g]
m_c	Masse der Schale und der Probe nach der Trocknung [g]
f	Umrechnungsfaktor, $f = 100$ für die Angabe der Ergebnisse in % und $f = 1.000$ für die Angabe in g/kg

Tabelle 10 beinhalten die ermittelten Trockenrückstände der Ersatzbrennstoffproben.

Tabelle 10: Trockenrückstände

	Trockenrückstand [%]
Unternehmen 1 (HD)	72,4
Unternehmen 2 (HD)	81,2
Unternehmen 2 (MB)	88,7
Unternehmen 3 (HD)	70,9
Unternehmen 3 (MB)	69,7
Unternehmen 4 (HD)	87,2
Unternehmen 4 (MB)	84,9
Unternehmen 5 (HD)	70,1
Unternehmen 5 (MB)	71,7
Unternehmen 6 (HD)	80,3
Unternehmen 7 (HD)	75,0
Unternehmen 8 (MB)	89,4

6 Siebanalysen

Unter einer Siebanalyse versteht man ein Verfahren zur Ermittlung der Korngrößenverteilung von Schüttgütern. Prinzipiell unterscheidet man zwischen einer Nass- und Trockensiebung. Das gebräuchlichste Verfahren ist die Siebung mit einem Siebturm, welcher auf einer Siebmaschine befestigt wird. Es handelt sich dabei um eine Trockensiebung und dieses Verfahren wurde auch in dieser Masterarbeit verwendet. Zum Unterschied zur Trockensiebung wird eine Nasssiebung vor allem bei ganz feinen Materialien verwendet. Bei der Trockensiebung wurden mehrere einzelne Siebe mit unterschiedlichen Maschenweiten (von oben bis unten absteigend) übereinander angeordnet und auf eine Siebmaschine gespannt (vgl. Abbildung 11). [23]



Abbildung 11: Siebmaschine [24]

Die Probe wird dabei auf dem größten Sieb aufgegeben und für eine gewisse zuvor festgelegte Zeit einer Bewegung ausgesetzt. Unter dem Turm befindet sich ein Siebboden, oben wird er durch einen Deckel abgeschlossen. Nach dem Siebvorgang werden die einzelnen Rückstände in den unterschiedlichen Sieben ausgewogen und die Korngrößenverteilung kann ermittelt werden. Laut der ÖNORM EN 15415-1 muss das Sieb mit der ISO 3310-1 und der ISO 3310-2 übereinstimmen. Die Lochform muss kreisförmig oder quadratisch sein und immer angegeben sein. Zu beachten ist, dass die Anzahl der Siebe und die Lochgröße des Siebes nach der Größe des Probenmaterials auszuwählen ist. Bei festen Ersatzbrennstoffen > 3,15 mm sollte man Siebe mit Lochgrößen von 3,15 mm, 6,3 mm, 12,5 mm, 25 mm, 50 mm, 100 mm und 125 mm verwenden. Die Anzahl der Siebe sollte so gewählt sein, dass auf einem Sieb nie mehr als 25 % der Bruttomasse zurückbleiben. Auf dem größten und kleinsten Sieb sollte die Bruttomasse nicht mehr als 5 % betragen. Um eine Überladung der einzelnen Siebe zu verhindern, muss die Versuchsprobe in mehrere Teilproben zerlegt werden. Die Probenmindestmenge muss bei Ersatzbrennstoffproben mit einer nominellen Siebgröße d_{95} von 25 – 150 mm, 2 kg betragen. Bei einem Wassergehalt von > 20 % ist die Probe vorzutrocknen. [23], [25]

6.1 Praktische Durchführung der Siebanalyse

Für die praktische Durchführung wurden die Maschenweiten 40 mm, 30 mm, 25 mm, 20 mm, 16 mm, 11,2 mm, 8 mm, 4 mm und 2 mm bzw. der Siebboden für den Siebvorgang ausgewählt. Da nicht alle Siebe auf einmal auf den Siebturm passten, wurde das Ausgangsmaterial zweimal gesiebt. Das erste Mal mit den Maschenweiten 40 – 16 mm und beim zweiten Mal mit 11,2 – 2 mm. Das ganz feine Material (< 2 mm) blieb immer im Siebboden zurück. Um ein optimales Siebergebnis zu erhalten dauerte ein Siebvorgang jeweils 2 – 3 Minuten. Die Geschwindigkeit wurde auf Stufe drei eingestellt. Um größere Verklumpungen zu vermeiden wurden die Ersatzbrennstoffproben jeweils vor der Siebung händisch aufgelockert.

In Abbildung 12 - Abbildung 16 sind beispielhaft die erhaltenen Korngrößen bildlich dargestellt.



Abbildung 12: Korngrößen > 40 mm (links) und 30 – 40 mm (rechts)



Abbildung 13: Korngrößen 25 – 30 mm (links) und 20 – 25 mm (rechts)



Abbildung 14: Korngrößen 16 – 20 mm (links) und 11,2 – 16 mm (rechts)



Abbildung 15: Korngrößen 8 – 11,2 mm (links) und 4 – 8 mm (rechts)



Abbildung 16: Korngrößen 2 – 4 mm (links) und < 2 mm (rechts)

6.2 Ergebnisse der Siebanalyse

In diesem Kapitel werden die Siebergebnisse aller zwölf vorhandenen Proben firmenspezifisch dargestellt und erörtert. Die einzelnen Fraktionen wurden dazu am Ende der Siebung abgewogen, um die einzelnen Massen zu bestimmen. Durch Abziehen der einzelnen Gefäße konnte die tatsächliche Masse ermittelt werden. Für die Auswertung wurde der Siebdurchgang bzw. der Siebrückstand gegen die Korngröße aufgetragen (LIN LIN Diagramm).

Unternehmen 1 – HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 11 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 17 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 1 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 11: Siebergebnis Unternehmen 1 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2259,40	100,00
> 40	40	203,50	9,01	203,50	9,01	2055,90	90,99
30 - 40	30	360,50	15,96	564,00	24,96	1695,40	75,04
25 - 30	25	209,00	9,25	773,00	34,21	1486,40	65,79
20 - 25	20	238,70	10,56	1011,70	44,78	1247,70	55,22
16 - 20	16	309,40	13,69	1321,10	58,47	938,30	41,53
11,2 - 16	11,2	371,30	16,43	1692,40	74,90	567,00	25,10
8 - 11,2	8	189,00	8,37	1881,40	83,27	378,00	16,73
4 - 8	4	182,40	8,07	2063,80	91,34	195,60	8,66
2 - 4	2	77,50	3,43	2141,30	94,77	118,10	5,23
0 - 2	0	118,10	5,23	2259,40	100,00	0,00	0,00
Summe		2259,4	100,0				

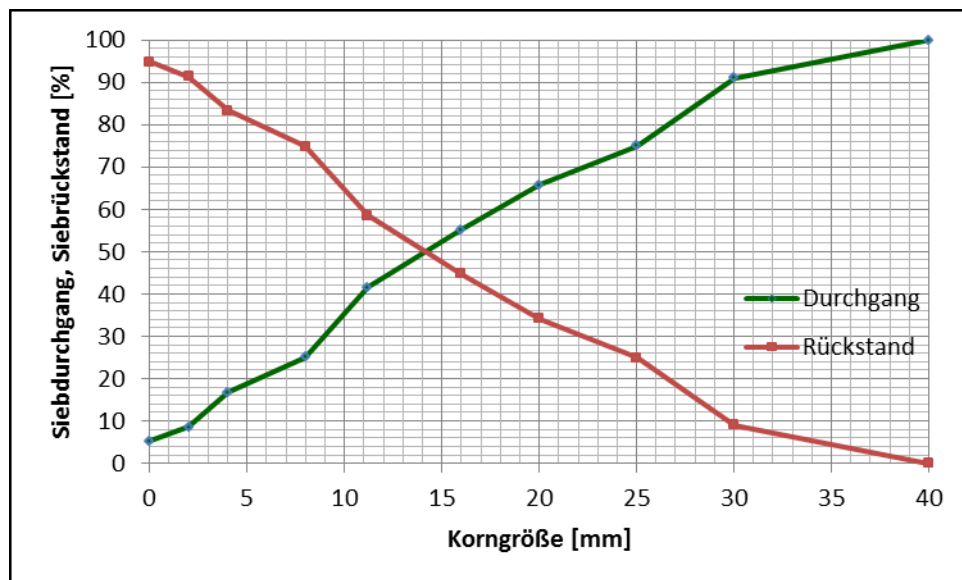


Abbildung 17: Korngrößenverteilung Unternehmen 1 (HD Material)

Unternehmen 2

1. HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 12 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 18 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 2 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 12: Siebergebnis Unternehmen 2 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2370,60	100,00
> 40	40	22,20	0,94	22,20	0,94	2348,40	99,06
30 - 40	30	84,70	3,57	106,90	4,51	2263,70	95,49
25 - 30	25	120,40	5,08	227,30	9,59	2143,30	90,41
20 - 25	20	267,30	11,28	494,60	20,86	1876,00	79,14
16 - 20	16	345,10	14,56	839,70	35,42	1530,90	64,58
11,2 - 16	11,2	636,20	26,84	1475,90	62,26	894,70	37,74
8 - 11,2	8	285,60	12,05	1761,50	74,31	609,10	25,69
4 - 8	4	290,70	12,26	2052,20	86,57	318,40	13,43
2 - 4	2	119,60	5,05	2171,80	91,61	198,80	8,39
0 - 2	0	198,80	8,39	2370,60	100,00	0,00	0,00
Summe		2370,6	100,0				

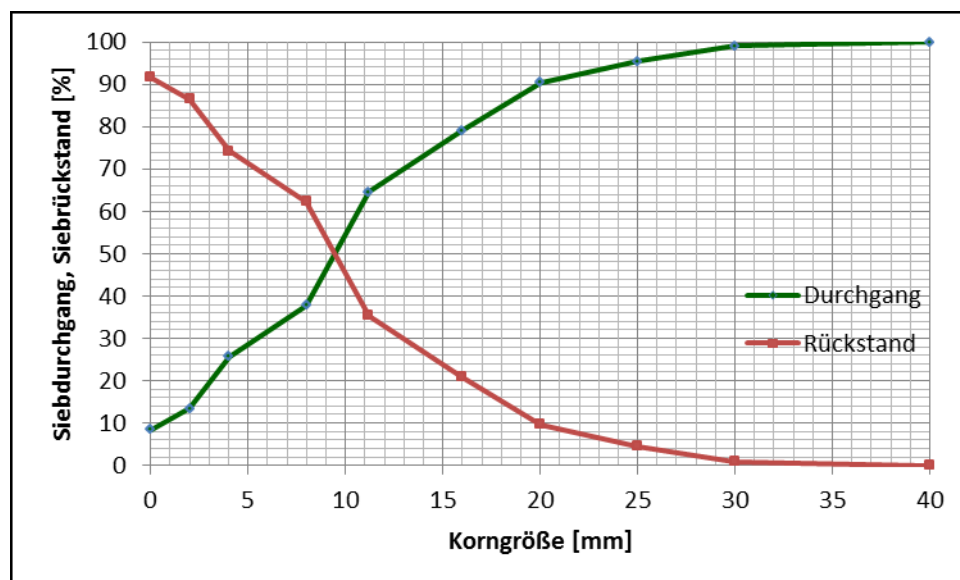


Abbildung 18: Korngrößenverteilung Unternehmen 2 (HD Material)

2. MB Material

In der nachfolgenden Tabelle 13 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 19 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 2 für das Main Burner Material abgebildet.

Tabelle 13: Siebergebnis Unternehmen 2 (MB Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2872,50	100,00
> 40	40	93,50	3,26	93,50	3,26	2779,00	96,74
30 - 40	30	205,90	7,17	299,40	10,42	2573,10	89,58
25 - 30	25	204,60	7,12	504,00	17,55	2368,50	82,45
20 - 25	20	499,40	17,39	1003,40	34,93	1869,10	65,07
16 - 20	16	394,30	13,73	1397,70	48,66	1474,80	51,34
11,2 - 16	11,2	697,20	24,27	2094,90	72,93	777,60	27,07
8 - 11,2	8	242,10	8,43	2337,00	81,36	535,50	18,64
4 - 8	4	257,60	8,97	2594,60	90,33	277,90	9,67
2 - 4	2	92,80	3,23	2687,40	93,56	185,10	6,44
0 - 2	0	185,10	6,44	2872,50	100,00	0,00	0,00
Summe		2872,5	100,0				

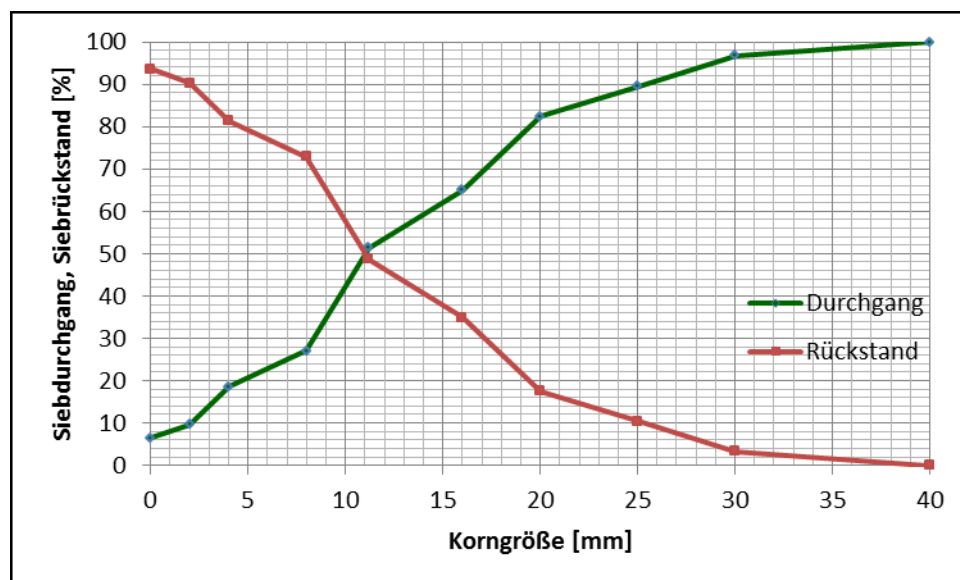


Abbildung 19: Korngrößenverteilung Unternehmen 2 (MB Material)

Unternehmen 3

1. HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 20 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 3 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 14: Siebergebnis Unternehmen 3 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	1995,10	100,00
> 40	40	673,80	33,77	673,80	33,77	1321,30	66,23
30 - 40	30	288,20	14,45	962,00	48,22	1033,10	51,78
25 - 30	25	116,00	5,81	1078,00	54,03	917,10	45,97
20 - 25	20	168,50	8,45	1246,50	62,48	748,60	37,52
16 - 20	16	146,60	7,35	1393,10	69,83	602,00	30,17
11,2 - 16	11,2	215,10	10,78	1608,20	80,61	386,90	19,39
8 - 11,2	8	81,30	4,07	1689,50	84,68	305,60	15,32
4 - 8	4	119,70	6,00	1809,20	90,68	185,90	9,32
2 - 4	2	61,80	3,10	1871,00	93,78	124,10	6,22
0 - 2	0	124,10	6,22	1995,10	100,00	0,00	0,00
Summe		1995,1	100,0				

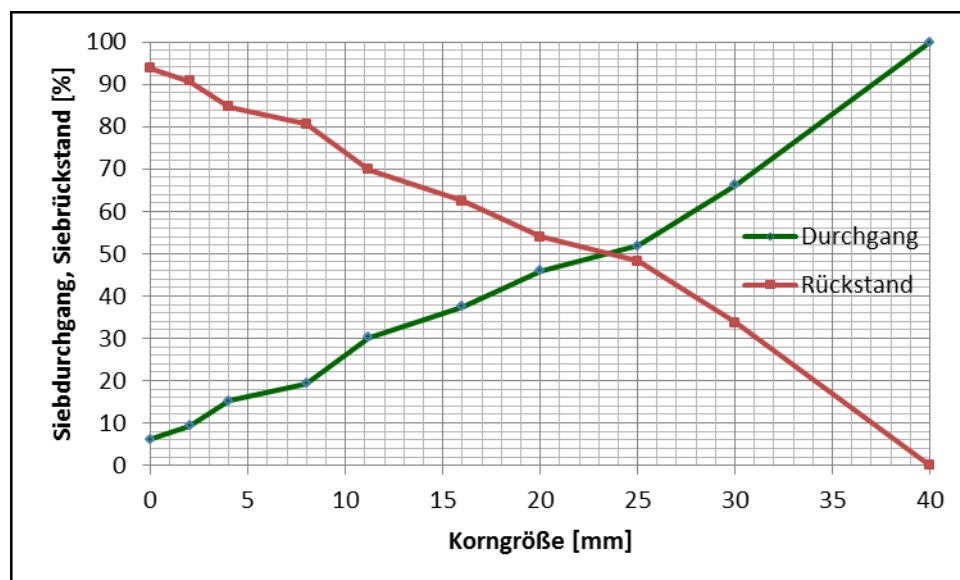


Abbildung 20: Korngrößenverteilung Unternehmen 3 (HD Material)

2. MB Material

In der nachfolgenden Tabelle 15 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 21 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 3 für das Main Burner Material abgebildet.

Tabelle 15: Siebergebnis Unternehmen 3 (MB Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2048,50	100,00
> 40	40	4,10	0,20	4,10	0,20	2044,40	99,80
30 - 40	30	44,00	2,15	48,10	2,35	2000,40	97,65
25 - 30	25	38,80	1,89	86,90	4,24	1961,60	95,76
20 - 25	20	183,30	8,95	270,20	13,19	1778,30	86,81
16 - 20	16	284,90	13,91	555,10	27,10	1493,40	72,90
11,2 - 16	11,2	427,20	20,85	982,30	47,95	1066,20	52,05
8 - 11,2	8	261,30	12,76	1243,60	60,71	804,90	39,29
4 - 8	4	382,60	18,68	1626,20	79,38	422,30	20,62
2 - 4	2	195,20	9,53	1821,40	88,91	227,10	11,09
0 - 2	0	227,10	11,09	2048,50	100,00	0,00	0,00
Summe		2048,5	100,0				

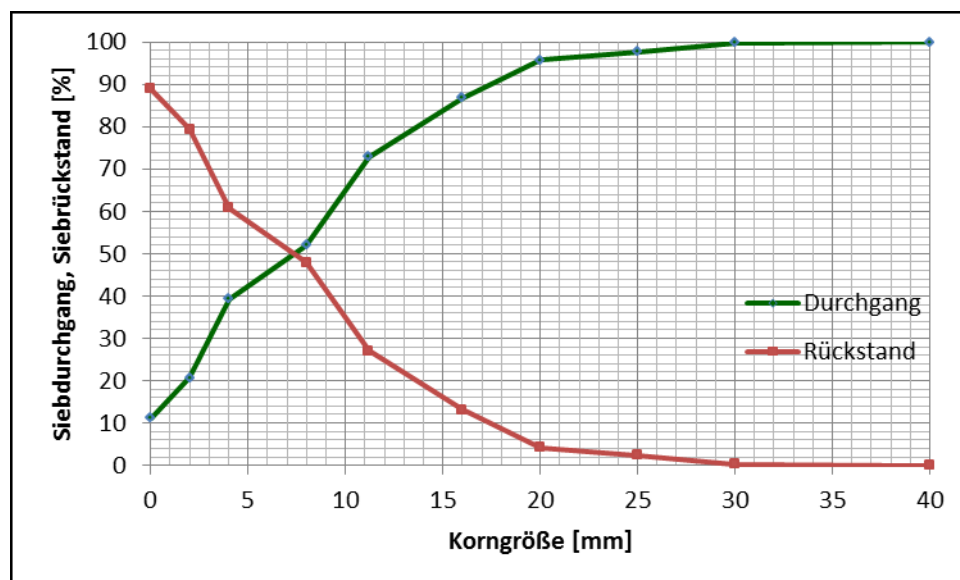


Abbildung 21: Korngrößenverteilung Unternehmen 3 (MB Material)

Unternehmen 4

1. HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 16 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 22 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 4 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 16: Siebergebnis Unternehmen 4 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2656,70	100,00
> 40	40	402,10	15,14	402,10	15,14	2254,60	84,86
30 - 40	30	441,20	16,61	843,30	31,74	1813,40	68,26
25 - 30	25	314,30	11,83	1157,60	43,57	1499,10	56,43
20 - 25	20	363,70	13,69	1521,30	57,26	1135,40	42,74
16 - 20	16	317,50	11,95	1838,80	69,21	817,90	30,79
11,2 - 16	11,2	409,90	15,43	2248,70	84,64	408,00	15,36
8 - 11,2	8	150,10	5,65	2398,80	90,29	257,90	9,71
4 - 8	4	134,80	5,07	2533,60	95,37	123,10	4,63
2 - 4	2	46,60	1,75	2580,20	97,12	76,50	2,88
0 - 2	0	76,50	2,88	2656,70	100,00	0,00	0,00
Summe		2656,7	100,0				

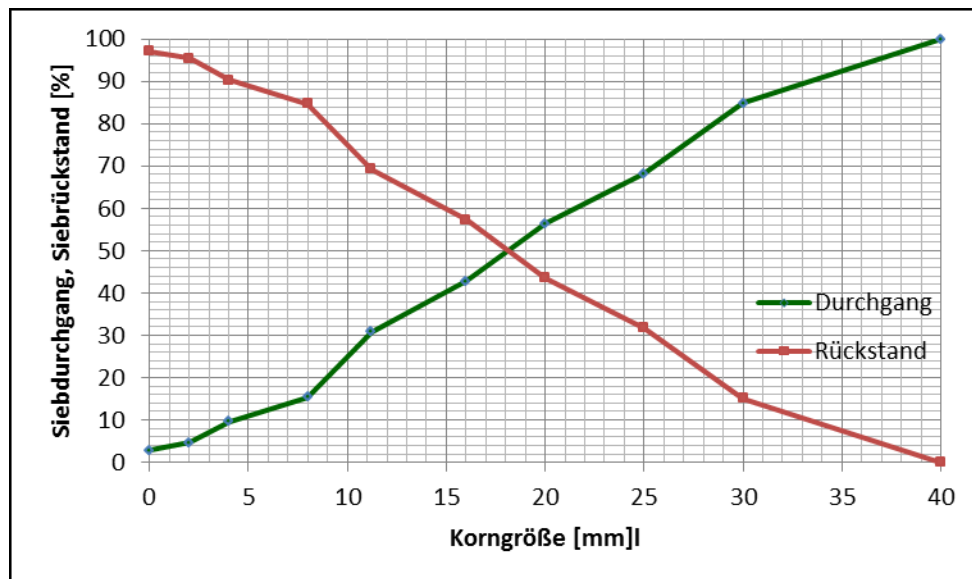


Abbildung 22: Korngrößenverteilung Unternehmen 4 (HD Material)

2. MB Material

In der nachfolgenden Tabelle 17 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 23 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 4 für das Main Burner Material abgebildet.

Tabelle 17: Siebergebnis Unternehmen 4 (MB Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2629,00	100,00
> 40	40	10,80	0,41	10,80	0,41	2618,20	99,59
30 - 40	30	111,20	4,23	122,00	4,64	2507,00	95,36
25 - 30	25	96,00	3,65	218,00	8,29	2411,00	91,71
20 - 25	20	217,50	8,27	435,50	16,57	2193,50	83,43
16 - 20	16	368,70	14,02	804,20	30,59	1824,80	69,41
11,2 - 16	11,2	667,10	25,37	1471,30	55,96	1157,70	44,04
8 - 11,2	8	419,40	15,95	1890,70	71,92	738,30	28,08
4 - 8	4	446,60	16,99	2337,30	88,90	291,70	11,10
2 - 4	2	153,20	5,83	2490,50	94,73	138,50	5,27
0 - 2	0	138,50	5,27	2629,00	100,00	0,00	0,00
Summe		2629,0	100,0				

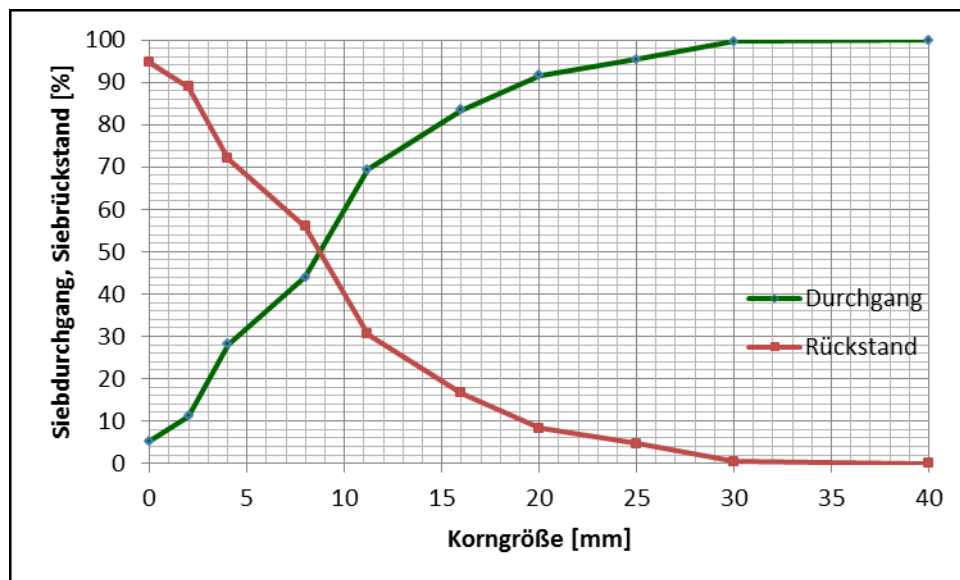


Abbildung 23: Korngrößenverteilung Unternehmen 4 (MB Material)

Unternehmen 5

1. HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 18 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 24 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 5 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 18: Siebergebnis Unternehmen 5 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2571,10	100,00
> 40	40	169,70	6,60	169,70	6,60	2401,40	93,40
30 - 40	30	258,60	10,06	428,30	16,66	2142,80	83,34
25 - 30	25	188,90	7,35	617,20	24,01	1953,90	75,99
20 - 25	20	334,30	13,00	951,50	37,01	1619,60	62,99
16 - 20	16	377,50	14,68	1329,00	51,69	1242,10	48,31
11,2 - 16	11,2	492,30	19,15	1821,30	70,84	749,80	29,16
8 - 11,2	8	237,60	9,24	2058,90	80,08	512,20	19,92
4 - 8	4	254,40	9,89	2313,30	89,97	257,80	10,03
2 - 4	2	100,20	3,90	2413,50	93,87	157,60	6,13
0 - 2	0	157,60	6,13	2571,10	100,00	0,00	0,00
Summe		2571,1	100,0				

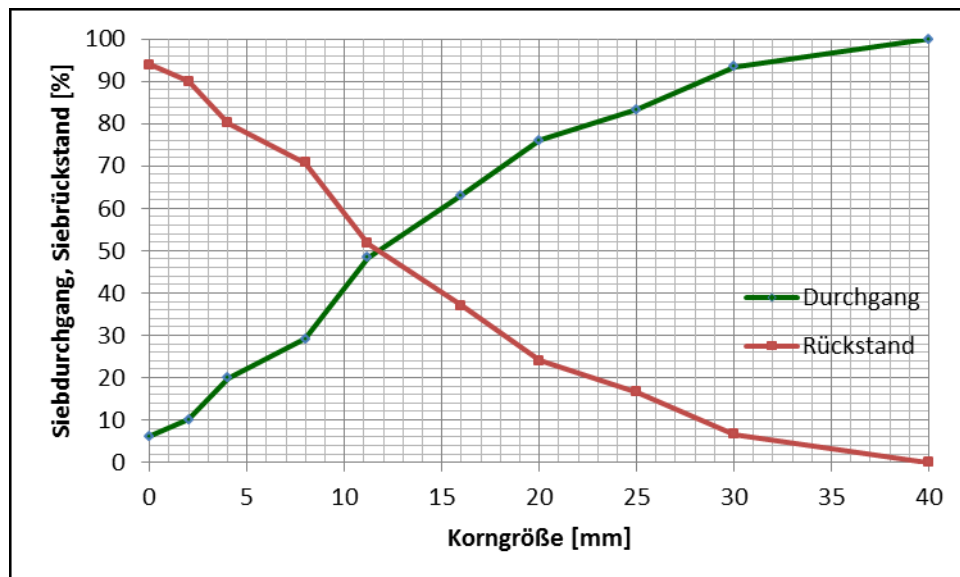


Abbildung 24: Korngrößenverteilung Unternehmen 5 (HD Material)

2. MB Material

In der nachfolgenden Tabelle 19 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 25 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 5 für das Main Burner Material abgebildet.

Tabelle 19: Siebergebnis Unternehmen 5 (MB Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2461,60	100,00
> 40	40	12,80	0,52	12,80	0,52	2448,80	99,48
30 - 40	30	67,10	2,73	79,90	3,25	2381,70	96,75
25 - 30	25	107,40	4,36	187,30	7,61	2274,30	92,39
20 - 25	20	213,70	8,68	401,00	16,29	2060,60	83,71
16 - 20	16	335,90	13,65	736,90	29,94	1724,70	70,06
11,2 - 16	11,2	533,50	21,67	1270,40	51,61	1191,20	48,39
8 - 11,2	8	274,20	11,14	1544,60	62,75	917,00	37,25
4 - 8	4	399,90	16,25	1944,50	78,99	517,10	21,01
2 - 4	2	200,30	8,14	2144,80	87,13	316,80	12,87
0 - 2	0	316,80	12,87	2461,60	100,00	0,00	0,00
Summe		2461,6	100,0				

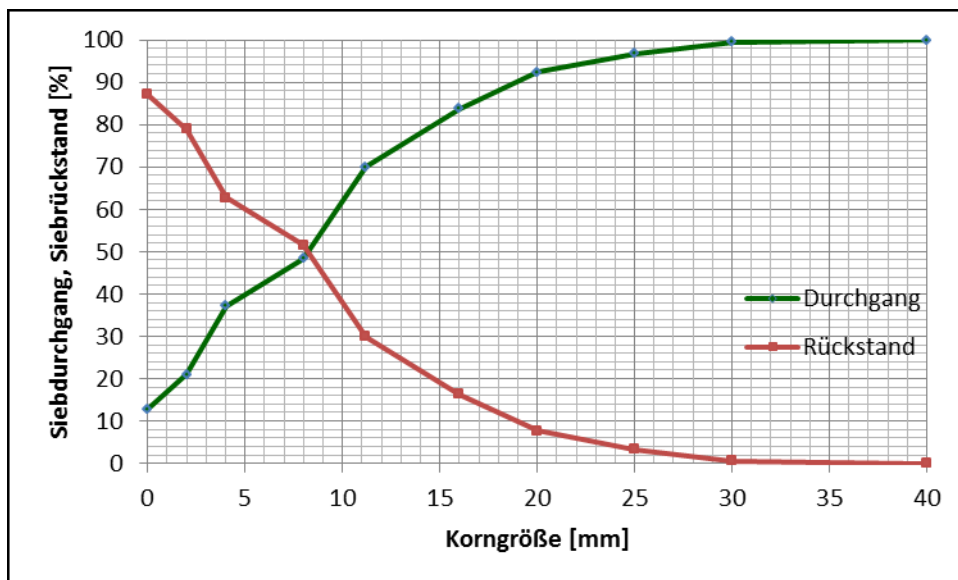


Abbildung 25: Korngrößenverteilung Unternehmen 5 (MB Material)

Unternehmen 6 – HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 20 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 26 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 6 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 20: Siebergebnis Unternehmen 6 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	3052,20	100,00
> 40	40	154,60	5,07	154,60	5,07	2897,60	94,93
30 - 40	30	246,40	8,07	401,00	13,14	2651,20	86,86
25 - 30	25	160,70	5,27	561,70	18,40	2490,50	81,60
20 - 25	20	278,90	9,14	840,60	27,54	2211,60	72,46
16 - 20	16	418,40	13,71	1259,00	41,25	1793,20	58,75
11,2 - 16	11,2	682,30	22,35	1941,30	63,60	1110,90	36,40
8 - 11,2	8	349,70	11,46	2291,00	75,06	761,20	24,94
4 - 8	4	350,90	11,50	2641,90	86,56	410,30	13,44
2 - 4	2	182,80	5,99	2824,70	92,55	227,50	7,45
0 - 2	0	227,50	7,45	3052,20	100,00	0,00	0,00
Summe		3052,2	100,0				

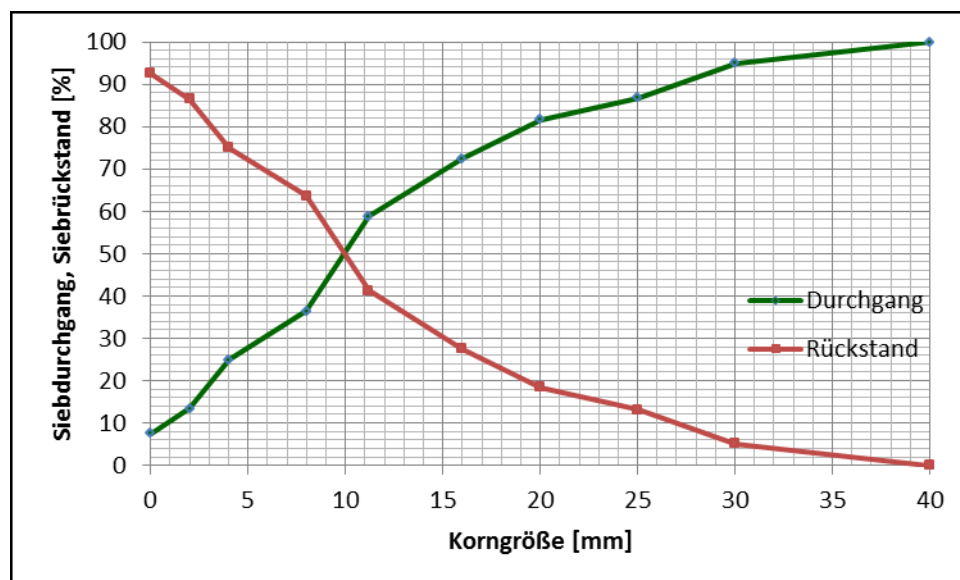


Abbildung 26: Korngrößenverteilung Unternehmen 6 (HD Material)

Unternehmen 7 – HD Material

In der nachfolgenden Tabelle 21 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 27 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 7 für das Hot Disc Material abgebildet.

Tabelle 21: Siebergebnis Unternehmen 7 (HD Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2373,10	100,00
> 40	40	359,60	15,15	359,60	15,15	2013,50	84,85
30 - 40	30	287,30	12,11	646,90	27,26	1726,20	72,74
25 - 30	25	268,60	11,32	915,50	38,58	1457,60	61,42
20 - 25	20	324,50	13,67	1240,00	52,25	1133,10	47,75
16 - 20	16	317,10	13,36	1557,10	65,61	816,00	34,39
11,2 - 16	11,2	358,50	15,11	1915,60	80,72	457,50	19,28
8 - 11,2	8	168,70	7,11	2084,30	87,83	288,80	12,17
4 - 8	4	152,10	6,41	2236,40	94,24	136,70	5,76
2 - 4	2	56,30	2,37	2292,70	96,61	80,40	3,39
0 - 2	0	80,40	3,39	2373,10	100,00	0,00	0,00
Summe		2373,1	100,0				

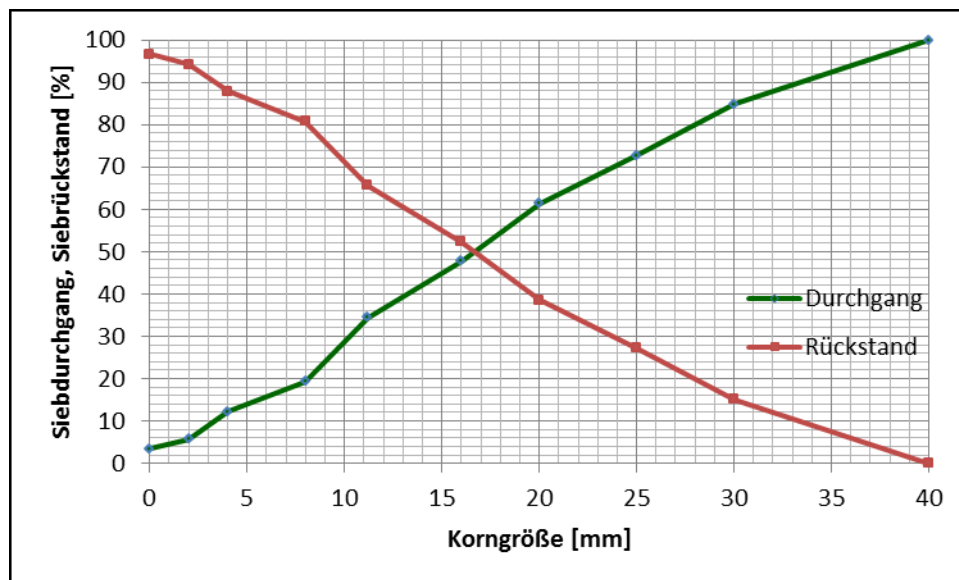


Abbildung 27: Korngrößenverteilung Unternehmen 7 (HD Material)

Unternehmen 8 – MB Material

In der nachfolgenden Tabelle 22 sind die Ergebnisse der jeweiligen Siebung dargestellt. Nachzulesen sind sowohl der Siebrückstand als auch der Siebdurchgang der jeweiligen Maschenweite. In der Abbildung 28 ist die Korngrößenverteilung für das Unternehmen 8 für das Main Burner Material abgebildet.

Tabelle 22: Sortierergebnis Unternehmen 8 (MB Material)

Klasse	Maschenweite [mm]	Masse		Siebrückstand		Siebdurchgang	
		[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
				0,00	0,00	2404,10	100,00
> 40	40	53,60	2,23	53,60	2,23	2350,50	97,77
30 - 40	30	40,40	1,68	94,00	3,91	2310,10	96,09
25 - 30	25	76,70	3,19	170,70	7,10	2233,40	92,90
20 - 25	20	227,90	9,48	398,60	16,58	2005,50	83,42
16 - 20	16	255,00	10,61	653,60	27,19	1750,50	72,81
11,2 -	11,2	655,90	27,28	1309,50	54,47	1094,60	45,53
8 - 11,2	8	324,80	13,51	1634,30	67,98	769,80	32,02
4 - 8	4	387,40	16,11	2021,70	84,09	382,40	15,91
2 - 4	2	150,90	6,28	2172,60	90,37	231,50	9,63
0 - 2	0	231,50	9,63	2404,10	100,00	0,00	0,00
Summe		2404,1	100,0				

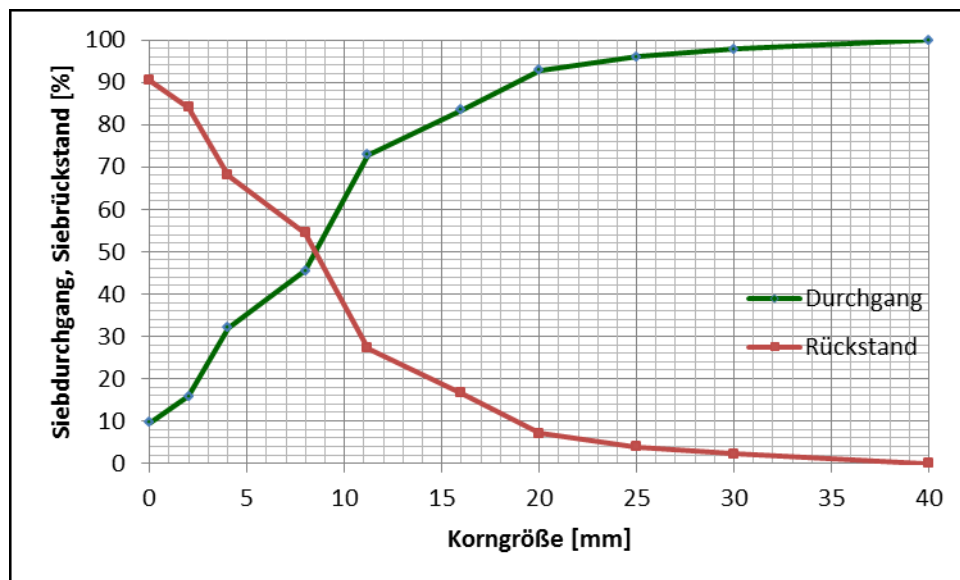


Abbildung 28: Korngrößenverteilung Unternehmen 8 (MB Material)

Tabelle 23 - Tabelle 26 beinhalten die Massenprozentage und die Siebrückstände [%] der gesamten untersuchten Unternehmen (U 1 - U 8). Unterschieden wird jeweils zwischen HD und MB Materialien. MW steht für den Mittelwert.

Tabelle 23: Massenprozent aller untersuchten Unternehmen mit HD Materialien

	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5	U 6	U 7	MW
> 40 mm	9,0	0,9	33,8	15,1	6,6	5,1	15,2	12,2
30 - 40 mm	16,0	3,6	14,4	16,6	10,1	8,2	12,1	11,6
25 - 30 mm	9,3	5,1	5,8	11,8	7,3	5,3	11,3	8,0
20 - 25 mm	10,6	11,3	8,4	13,7	13,0	9,2	13,7	11,4
16 - 20 mm	13,7	14,6	7,3	12,0	14,7	13,7	13,3	12,8
11,2 - 16 mm	16,4	26,8	10,8	15,4	19,1	22,4	15,1	18,0
8 - 11,2 mm	8,4	12,0	4,1	5,6	9,2	11,5	7,1	8,3
4 - 8 mm	8,1	12,3	6,0	5,1	9,9	11,5	6,4	8,5
2 - 4 mm	3,4	5,0	3,1	1,8	3,9	6,0	2,4	3,7
0 - 2 mm	5,2	8,4	6,2	2,9	6,1	7,5	3,4	5,7

Tabelle 24: Massenprozent aller untersuchten Unternehmen mit MB Materialien

	U 2	U 3	U 4	U 5	U 8	MW
> 40 mm	3,3	0,2	0,4	0,5	2,2	1,3
30 - 40 mm	7,2	2,1	4,2	2,8	1,7	3,6
25 - 30 mm	7,1	1,9	3,7	4,4	3,2	4,1
20 - 25 mm	17,4	8,9	8,3	8,8	9,5	10,6
16 - 20 mm	13,7	13,9	14,0	13,6	10,6	13,2
11,2 - 16 mm	24,3	20,9	25,4	21,8	27,3	23,9
8 - 11,2 mm	8,4	12,8	16,0	11,2	13,5	12,4
4 - 8 mm	9,0	18,7	17,0	16,2	16,1	15,4
2 - 4 mm	3,2	9,5	5,8	8,2	6,3	6,6
0 - 2 mm	6,4	11,1	5,3	12,9	9,6	9,1

Abbildung 29 zeigt das Verhalten der Mittelwerte sowohl bei den MB als auch bei den HD Materialien.

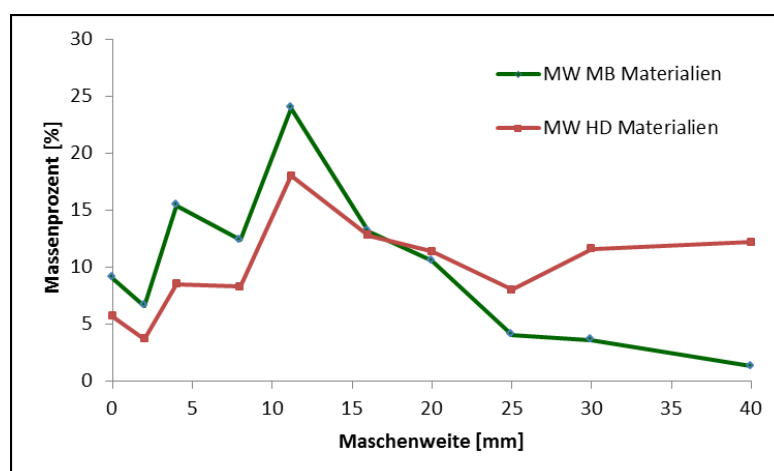


Abbildung 29: Mittelwerte der Siebanalyse

In Abbildung 30 wurde die Summenkurve der Mittelwerte gebildet.

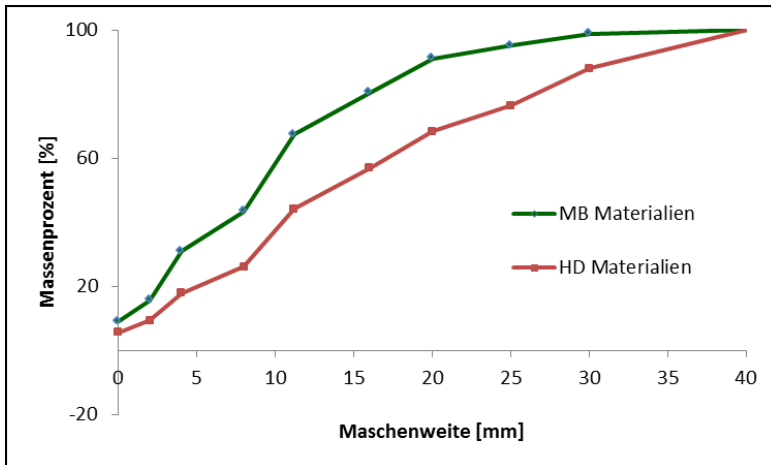


Abbildung 30: Summenkurve der Mittelwerte der Siebanalyse

Tabelle 25: Siebrückstände [%] aller untersuchten Unternehmen mit HD Materialien

	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5	U 6	U 7	MW
> 40 mm	9,0	0,9	33,8	15,1	6,6	5,1	15,2	12,2
30 - 40 mm	25,0	4,5	48,2	31,7	16,7	13,1	27,3	23,8
25 - 30 mm	34,2	9,6	54,0	43,6	24,0	18,4	38,6	31,8
20 - 25 mm	44,8	20,9	62,5	57,3	37,0	27,5	52,3	43,2
16 - 20 mm	58,5	35,4	69,8	69,2	51,7	41,2	65,6	55,9
11,2 - 16 mm	74,9	62,3	80,6	84,6	70,8	63,6	80,7	73,9
8 - 11,2 mm	83,3	74,3	84,7	90,3	80,1	75,1	87,8	82,2
4 - 8 mm	91,3	86,6	90,7	95,4	90,0	86,6	94,2	90,7
2 - 4 mm	94,8	91,6	93,8	97,1	93,9	92,5	96,6	94,3
0 - 2 mm	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 26: Siebrückstände [%] aller untersuchten Unternehmen mit MB Materialien

	U 2	U 3	U 4	U 5	U 8	MW
> 40 mm	3,3	0,2	0,4	0,5	2,2	1,3
30 - 40 mm	10,4	2,3	4,6	3,3	3,9	4,9
25 - 30 mm	17,5	4,2	8,3	7,7	7,1	9,0
20 - 25 mm	34,9	13,2	16,6	16,4	16,6	19,5
16 - 20 mm	48,7	27,1	30,6	29,9	27,2	32,7
11,2 - 16 mm	72,9	48,0	56,0	51,6	54,5	56,6
8 - 11,2 mm	81,4	60,7	71,9	62,7	68,0	68,9
4 - 8 mm	90,3	79,4	88,9	79,0	84,1	84,3
2 - 4 mm	93,6	88,9	94,7	87,1	90,4	90,9
0 - 2 mm	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

7 Sortieranalysen

Mit der Frage der Abfallzusammensetzung werden heutzutage eine große Anzahl an Personen wie etwa entsorgungspflichtige Körperschaften, Betreiber von Sortieranlagen, Verwerter von Sortierfraktionen und Aufsichtsbehörden konfrontiert. Eine Sortierung des Abfalls wird in folgenden Bereichen durchgeführt:

- Überprüfung von Qualitätskriterien und Sortenreinheit,
- Bestimmung des Trennvermögens von Abfallsortieranlagen,
- Kontrolle und Überwachung von gesetzlichen Regelungen,
- Ermittlung und Beurteilung der Behandlungs- und Beseitigungsmöglichkeiten,
- Eingangskontrollen,
- Ermittlung der Abfallzusammensetzung,
- Ermittlung von Störstoffen in Wertstofffraktionen und
- Bestimmung von Wertstoffen in Abfällen. [26]

Um eine reibungslose Sortieranalyse zu gewährleisten sind einige Vorbereitungen notwendig. So sind beispielsweise die genauen Fraktionen, nach denen sortiert werden soll, die Materialzusammensetzung, sowie das exakte Ziel der Analyse festzulegen. Auch der Einfluss von jahreszeitlichen Schwankungen des Abfalls muss dabei berücksichtigt werden. [26]

7.1 Praktische Durchführung der Sortieranalyse

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden von den in Kapitel 4 bereits beschriebenen Unternehmen Sortieranalysen durchgeführt. Daraus ergaben sich zwölf verschiedene Proben (teilweise HD und teilweise MB Material) von acht unterschiedlichen Unternehmen. Dazu mussten die einzelnen Ersatzbrennstoffproben zuerst gesiebt werden (vgl. Kapitel 6). Alle Materialien welche eine Korngröße $\geq 11,2$ mm aufwiesen (also insgesamt sechs Fraktionen) wurden händisch, nach den im Bundesabfallwirtschaftsplan von 2011 festgelegten Fraktionen für Restmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen, sortiert. Die Feinfraktion setzt sich aus den Korngrößen 8 mm, 4 mm, 2 mm und dem Siebrest < 2 mm zusammen und wurde aufgrund der geringen Größe in der händischen Sortierung nicht berücksichtigt. In der Grafik sind diese Mengen dennoch als Feinfraktion ersichtlich. Folgende Fraktionen wurden erfasst:

- organische/biogene Abfälle,
- Papier, Pappe und Kartonagen,
- Hygieneartikel,
- Kunststoffe bzw. Leichtfraktion,
- Verbundstoffe,
- Textilien,
- Glas,
- inerte Materialien,

- Metalle,
- Problemstoffe,
- Sonstiges und
- Restfraktion.

In Abbildung 31 - Abbildung 36 sind alle sortierten Fraktionen bildlich dargestellt.



Abbildung 31: Sortierfraktionen Papier (links) und organische/biogene Abfälle (rechts)



Abbildung 32: Sortierfraktionen Kunststoffe (links) und Verbundmaterialien (rechts)



Abbildung 33: Sortierfraktionen Textilien (links) und Glas (rechts)



Abbildung 34: Sortierfraktionen inerte Materialien (links) und Metalle (rechts)



Abbildung 35: Sortierfraktionen Problemstoffe (links) und Sonstiges (rechts)



Abbildung 36: Sortierrest

7.2 Ergebnisse der Sortieranaylse

In diesem Kapitel werden die Sortierergebnisse aller gezogener Ersatzbrennstoffproben firmenspezifisch dargestellt und erörtert. Die einzelnen Fraktionen wurden dazu am Ende der Sortierung abgewogen, um die einzelnen Massen zu bestimmen. Durch Abziehen der einzelnen GefäÙe konnte die tatsächliche Masse ermittelt werden. Um eine bessere grafische Darstellung zu gewährleisten sind die Ergebnisse zusätzlich in einem anschaulichen Tortendiagramm dargestellt.

Unternehmen 1 – HD Material

In der folgenden Tabelle 27 und der Abbildung 37 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmen 1 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 27 nachzulesen.

Tabelle 27: Sortierergebnis Unternehmen 1 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	250,70	11,08
Papier, Pappe und Kartonagen	519,20	22,94
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	600,30	26,52
Verbundstoffe	18,90	0,83
Textilien	121,10	5,35
Glas	75,20	3,32
inerte Materialien	81,50	3,60
Metall	10,10	0,45
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	9,70	0,43
Restfraktion	9,80	0,43
Feinfraktion	567,00	25,05
Summe	2263,5	100,0

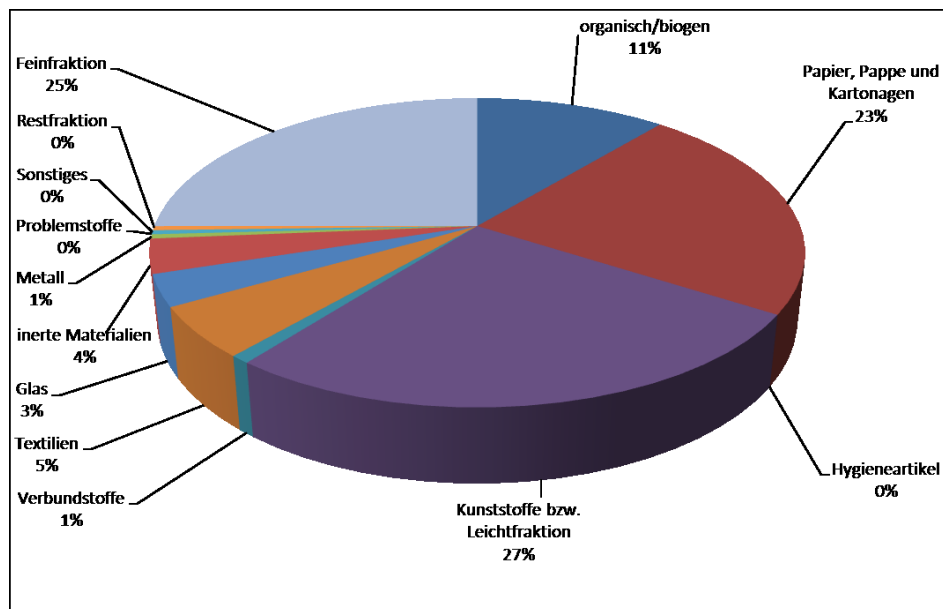


Abbildung 37: Einzelne Fraktionen Unternehmen 1 (HD Material)

Unternehmen 2

1. HD Material

In der folgenden Tabelle 28 und der Abbildung 38 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 2 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 28 nachzulesen.

Tabelle 28: Sortierergebnis Unternehmen 2 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	256,30	10,79
Papier, Pappe und Kartonagen	319,90	13,47
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	552,40	23,26
Verbundstoffe	43,30	1,82
Textilien	163,50	6,89
Glas	26,10	1,10
inerte Materialien	59,80	2,52
Metall	10,60	0,45
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	28,40	1,20
Restfraktion	19,60	0,83
Feinfraktion	894,70	37,68
Summe	2374,6	100,0

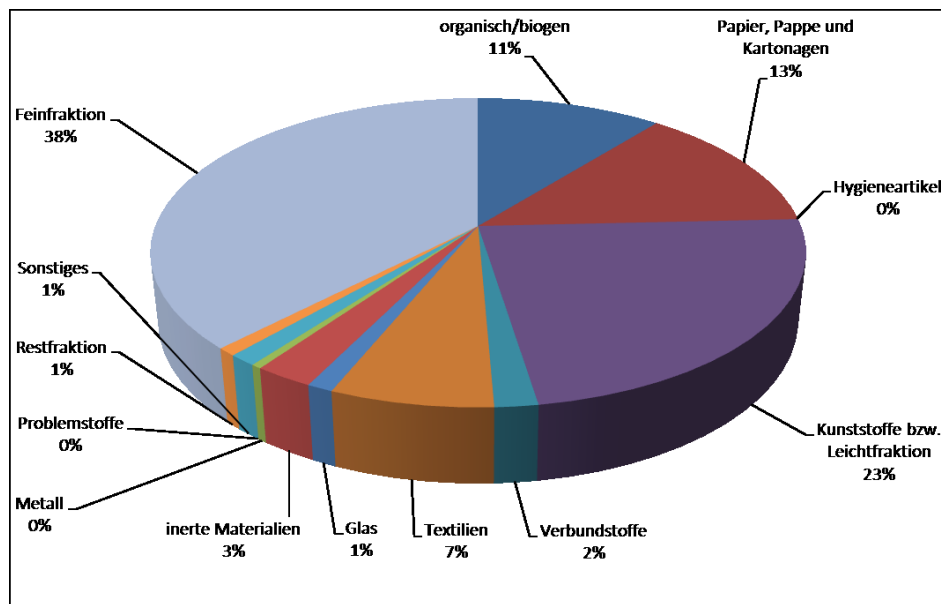


Abbildung 38: Einzelne Fraktionen Unternehmen 2 (HD Material)

In der folgenden Tabelle 29 und der Abbildung 39 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 2 für das Main Burner Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 29 nachzulesen.

Tabelle 29: Sortierergebnis Unternehmen 2 (MB Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	84,50	2,94
Papier, Pappe und Kartonagen	442,40	15,38
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	889,20	30,92
Verbundstoffe	75,90	2,64
Textilien	544,90	18,95
Glas	0,00	0,00
inerte Materialien	0,00	0,00
Metall	42,40	1,47
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	7,90	0,27
Restfraktion	11,00	0,38
Feinfraktion	777,60	27,04
Summe	2875,8	100,0

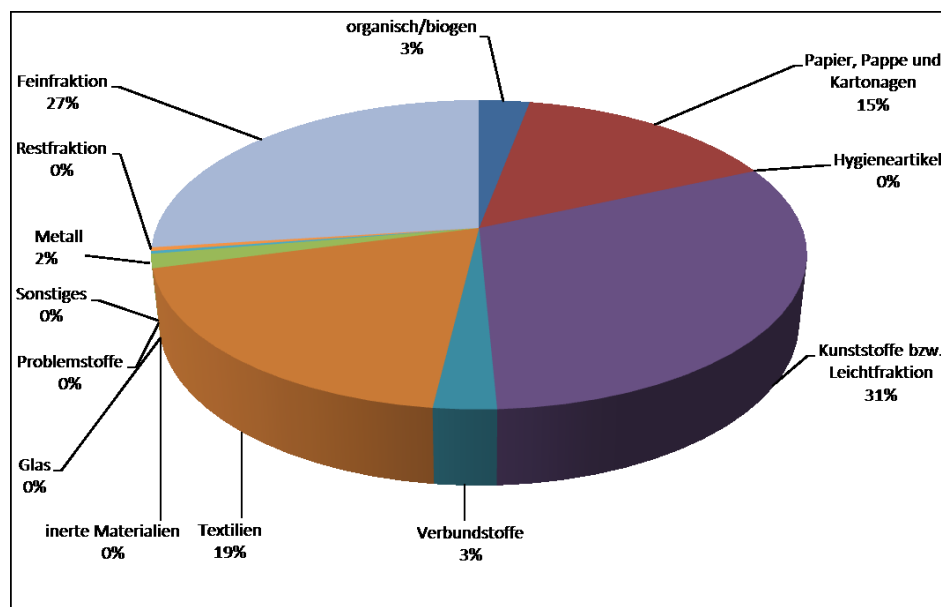


Abbildung 39: Einzelne Fraktionen Unternehmen 2 (MB Material)

Unternehmen 3

1. HD Material

In der folgenden Tabelle 30 und der Abbildung 40 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 3 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 30 nachzulesen.

Tabelle 30: Sortierergebnis Unternehmen 3 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	156,20	7,82
Papier, Pappe und Kartonagen	311,40	15,59
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	652,00	32,65
Verbundstoffe	41,00	2,05
Textilien	362,80	18,17
Glas	0,00	0,00
inerte Materialien	0,00	0,00
Metall	17,70	0,89
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	34,40	1,72
Restfraktion	34,80	1,74
Feinfraktion	386,90	19,37
Summe	1995,1	100,0

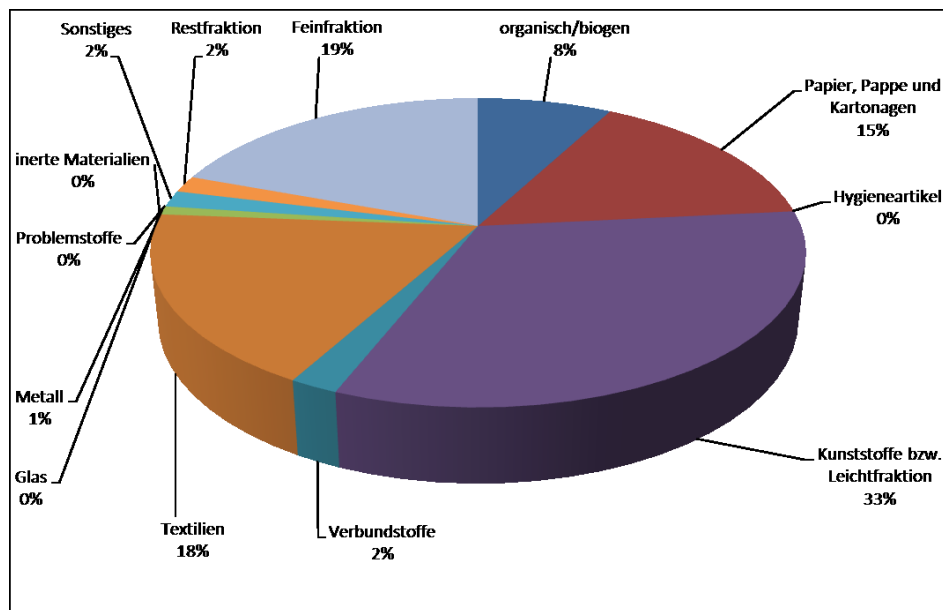


Abbildung 40: Einzelne Fraktionen Unternehmen 3 (HD Material)

2. MB Material

In der folgenden Tabelle 31 und der Abbildung 41 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 3 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 31 nachzulesen.

Tabelle 31: Sortierergebnis Unternehmen 3 (MB Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	3,20	0,16
Papier, Pappe und Kartonagen	109,30	5,33
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	451,70	22,03
Verbundstoffe	11,70	0,57
Textilien	369,90	18,04
Glas	0,00	0,00
inerte Materialien	0,00	0,00
Metall	3,10	0,15
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	0,00	0,00
Restfraktion	35,60	1,74
Feinfraktion	1066,20	51,99
Summe	2050,7	100,0

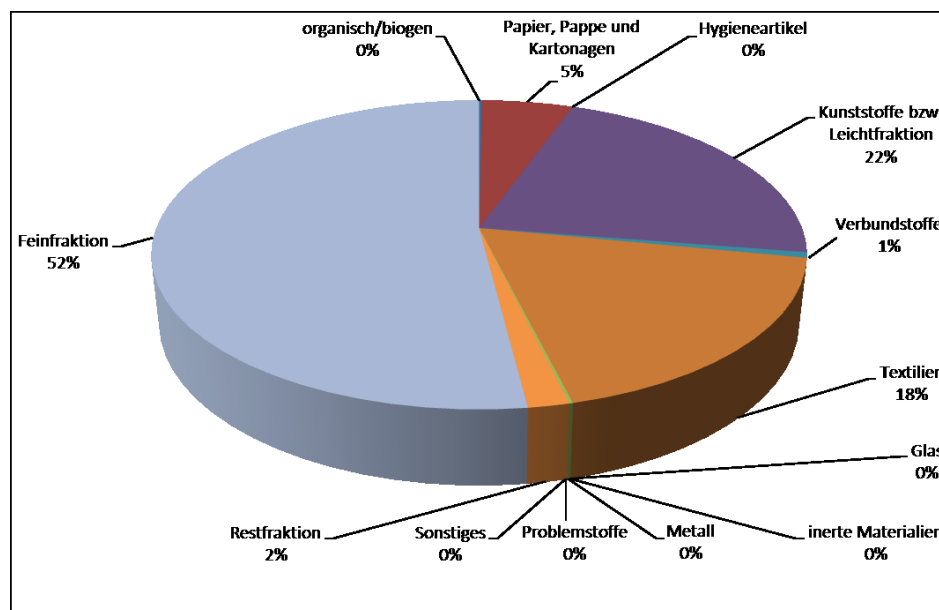


Abbildung 41: Einzelne Fraktionen Unternehmen 3 (MB Material)

Unternehmen 4

1. HD Material

In der folgenden Tabelle 32 und der Abbildung 42 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 4 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 32 nachzulesen.

Tabelle 32: Sortierergebnis Unternehmen 4 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	72,50	2,72
Papier, Pappe und Kartonagen	321,20	12,05
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	1127,40	42,31
Verbundstoffe	410,30	15,40
Textilien	124,30	4,66
Glas	0,00	0,00
inerte Materialien	12,10	0,45
Metall	8,40	0,32
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	52,20	1,96
Restfraktion	128,50	4,82
Feinfraktion	408,00	15,31
Summe	2664,9	100,0

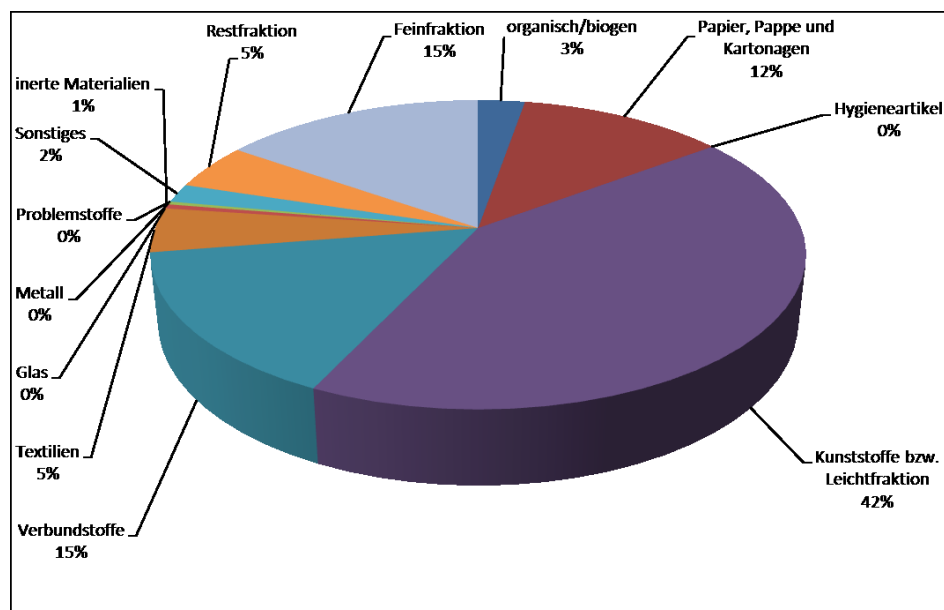


Abbildung 42: Einzelne Fraktionen Unternehmen 4 (HD Material)

2. MB Material

In der folgenden Tabelle 33 und der Abbildung 43 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 4 für das Main Burner Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 33 nachzulesen.

Tabelle 33: Sortierergebnis Unternehmen 4 (MB Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	20,10	0,76
Papier, Pappe und Kartonagen	214,60	8,15
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	922,80	35,03
Verbundstoffe	130,10	4,94
Textilien	62,30	2,37
Glas	12,80	0,49
inerte Materialien	9,10	0,35
Metall	16,80	0,64
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	22,90	0,87
Restfraktion	64,90	2,46
Feinfraktion	1157,70	43,95
Summe	2634,1	100,0

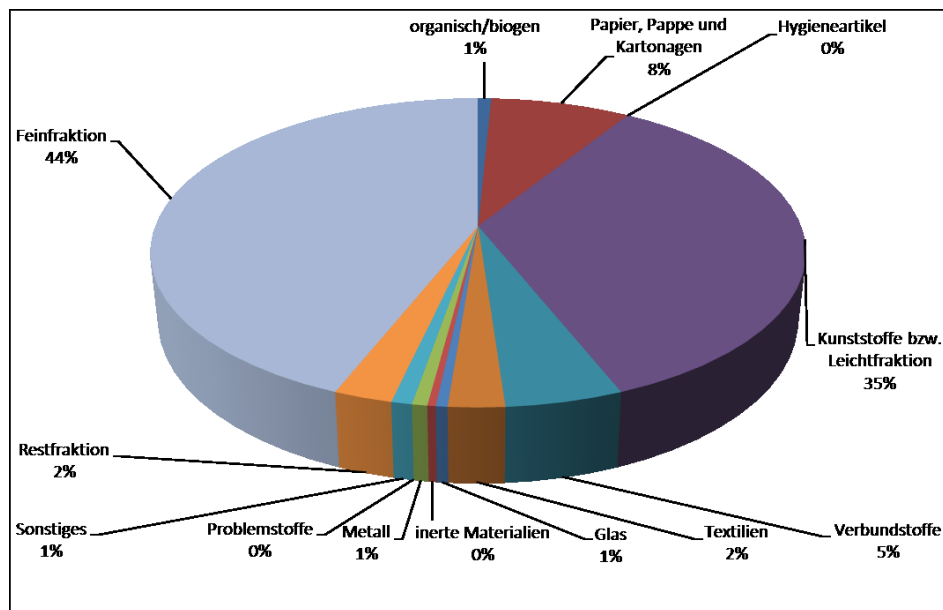


Abbildung 43: Einzelne Fraktionen Unternehmen 4 (MB Material)

Unternehmen 5

1. HD Material

In der folgenden Tabelle 34 und der Abbildung 44 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 5 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 34 nachzulesen.

Tabelle 34: Sortierergebnis Unternehmen 5 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	275,80	10,71
Papier, Pappe und Kartonagen	494,30	19,20
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	395,70	15,37
Verbundstoffe	14,60	0,57
Textilien	146,90	5,71
Glas	76,70	2,98
inerte Materialien	375,20	14,57
Metall	12,70	0,49
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	21,90	0,85
Restfraktion	11,20	0,43
Feinfraktion	749,80	29,12
Summe	2574,8	100,0

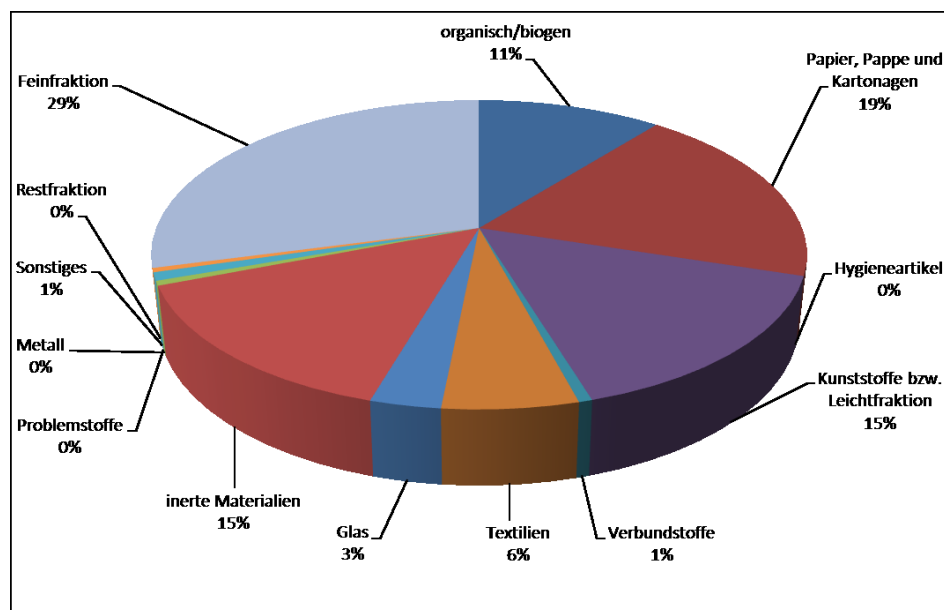


Abbildung 44: Einzelne Fraktionen Unternehmen 5 (HD Material)

2. MB Material

In der folgenden Tabelle 35 und der Abbildung 45 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 5 für das Main Burner Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 35 nachzulesen.

Tabelle 35:Sortierergebnis Unternehmen 5 (MB Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	34,00	1,38
Papier, Pappe und Kartonagen	310,20	12,60
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	575,60	23,37
Verbundstoffe	22,00	0,89
Textilien	265,10	10,40
Glas	0,00	0,00
inerte Materialien	20,90	0,85
Metall	22,30	0,91
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	0,00	0,00
Restfraktion	30,50	1,24
Feinfraktion	1191,20	48,37
Summe	2462,8	100,0

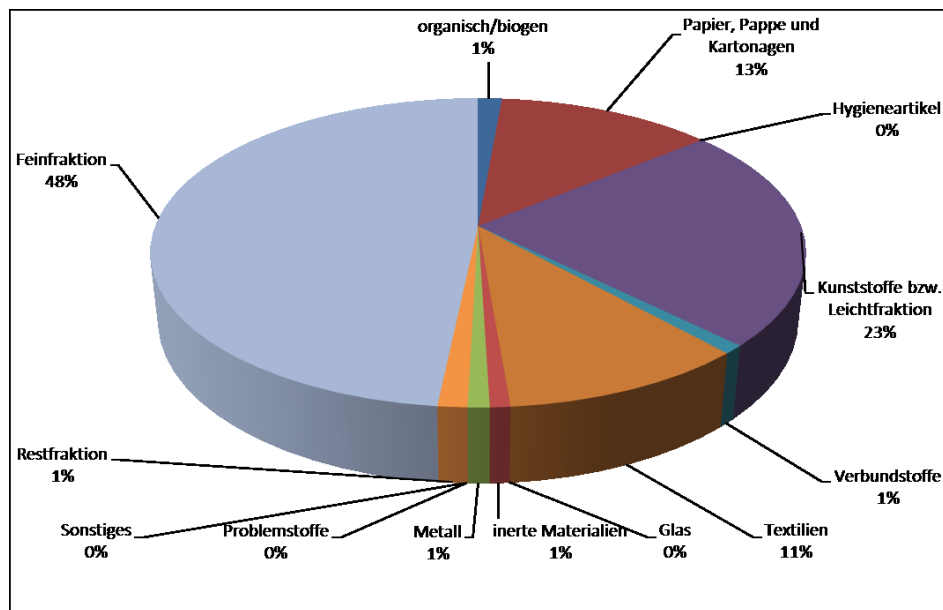


Abbildung 45: Einzelne Fraktionen Unternehmen 5 (MB Material)

Unternehmen 6 – HD Material

In der folgenden Tabelle 36 und der Abbildung 46 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 6 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 36 nachzulesen.

Tabelle 36: Sortierergebnis Unternehmen 6 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	218,20	7,14
Papier, Pappe und Kartonagen	194,80	6,38
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	789,70	25,86
Verbundstoffe	133,00	4,35
Textilien	64,50	2,11
Glas	27,20	2,36
inerte Materialien	211,90	6,94
Metall	181,80	5,95
Problemstoffe	35,40	1,16
Sonstiges	15,60	0,51
Restfraktion	26,20	0,86
Feinfraktion	1110,90	36,37
Summe	3054,2	100,0

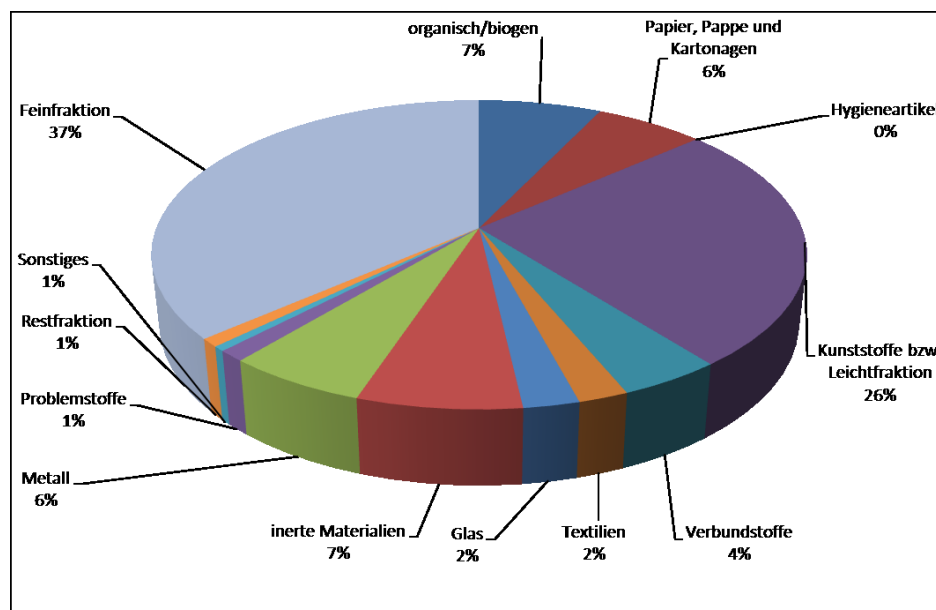


Abbildung 46: Einzelne Fraktionen Unternehmen 6 (HD Material)

Unternehmen 7 – HD Material

In der folgenden Tabelle 37 und der Abbildung 47 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 7 für das Hot Disc Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 37 nachzulesen.

Tabelle 37: Sortierergebnis Unternehmen 7 (HD Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	211,60	8,72
Papier, Pappe und Kartonagen	534,10	22,01
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	818,80	33,74
Verbundstoffe	90,70	3,74
Textilien	245,10	10,10
Glas	2,60	0,11
inerte Materialien	6,10	0,25
Metall	35,70	1,47
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	18,50	0,76
Restfraktion	6,00	0,25
Feinfraktion	457,50	18,85
Summe	2426,7	100,0

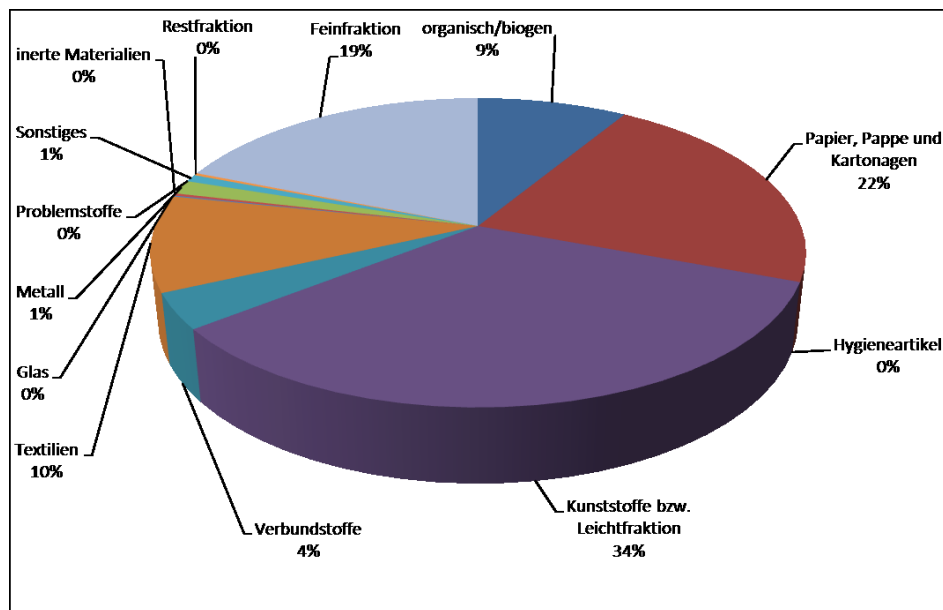


Abbildung 47: Einzelne Fraktionen Unternehmen 7 (HD Material)

Unternehmen 8 – MB Material

In der folgenden Tabelle 38 und der Abbildung 48 sind die Ergebnisse der händischen Sortierung des Unternehmens 8 für das Main Burner Material dargestellt. Die Prozente zu den einzelnen Fraktionen sind ebenfalls in der Tabelle 38 nachzulesen.

Tabelle 38: Sortierergebnis Unternehmen 8 (MB Material)

Fraktion	Masse [g]	Masse [%]
organisch/biogen	21,20	0,88
Papier, Pappe und Kartonagen	147,40	6,14
Hygieneartikel	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	692,70	28,85
Verbundstoffe	137,40	5,72
Textilien	233,80	9,74
Glas	0,50	0,02
inerte Materialien	4,20	0,17
Metall	12,80	0,53
Problemstoffe	0,00	0,00
Sonstiges	8,10	0,34
Restfraktion	48,10	2,00
Feinfraktion	1094,60	45,59
Summe	2400,8	100,0

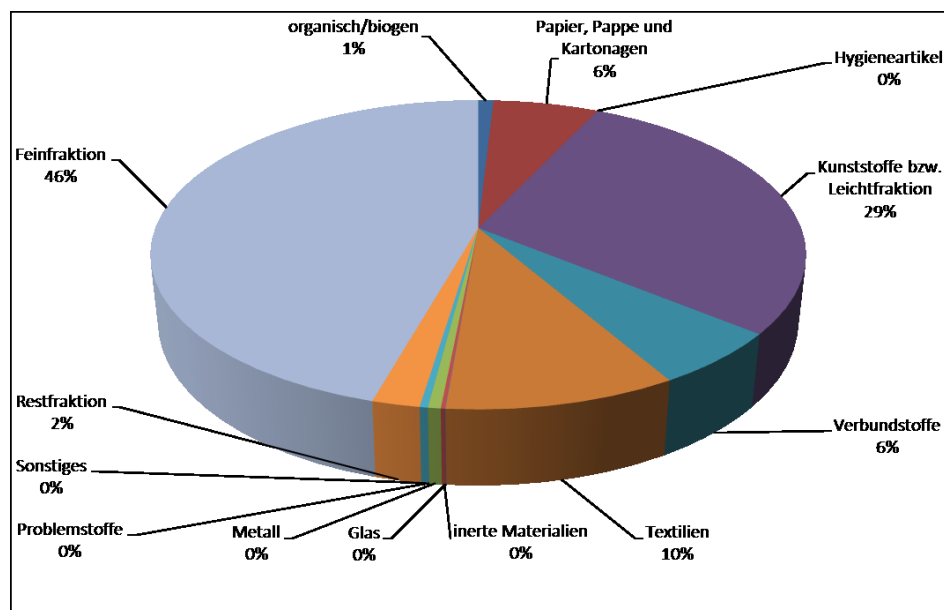


Abbildung 48: Einzelne Fraktionen Unternehmen 8 (MB Material)

Um die Sortieranalyse bestmöglich zusammenzufassen sind in der nachfolgenden Tabelle 39 und der Tabelle 40 alle Massen [%] der untersuchten Fraktionen nochmals aufgelistet. Für eine bessere Vergleichbarkeit wird dabei wieder zwischen HD und MB Materialien unterschieden. MW steht erneut für den Mittelwert.

Tabelle 39: Sortierergebnis HD Materialien

	U 1	U 2	U 3	U 4	U 5	U 6	U 7	MW
organisch/biogen	11,1	10,8	7,8	2,7	10,7	7,1	8,7	8,4
Papier, Pappe und Kartonagen	22,9	13,5	15,6	12,1	19,2	6,4	22,0	16,0
Kunststoffe (Leichtfraktion)	26,5	23,3	32,6	42,3	15,4	25,9	33,7	28,5
Verbundstoffe	0,8	1,8	2,1	15,4	0,6	4,4	3,7	4,1
Textilien	5,4	6,9	18,2	4,7	5,7	2,1	10,1	7,6
Glas	3,3	1,1	0,0	0,0	3,0	2,4	0,1	1,4
inerte Materialien	3,6	2,5	0,0	0,5	14,6	6,9	0,3	4,1
Metalle	0,4	0,4	0,9	0,3	0,5	6,0	1,5	1,4
Problemstoffe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,2
Sonstiges	0,4	1,2	1,7	2,0	0,9	0,5	0,8	1,1
Restfraktion	0,4	0,8	1,7	4,8	0,4	0,9	0,2	1,3
Feinfraktion	25,0	37,7	19,4	15,3	29,1	36,4	18,9	26,0

Tabelle 40: Sortierergebnis MB Materialien

	U 2	U 3	U 4	U 5	U 8	MW
organisch/biogen	2,9	0,2	0,8	1,4	0,9	1,2
Papier, Pappe und Kartonagen	15,4	5,3	8,1	12,6	6,1	9,5
Kunststoffe (Leichtfraktion)	30,9	22,0	35,0	23,4	28,9	28,0
Verbundstoffe	2,6	0,6	4,9	0,9	5,7	2,9
Textilien	18,9	18,0	2,4	10,4	9,7	11,9
Glas	0,0	0,0	0,5	0,0	0,02	0,1
inerte Materialien	0,0	0,0	0,3	0,8	0,2	0,3
Metalle	1,5	0,2	0,6	0,9	0,5	0,7
Problemstoffe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sonstiges	0,3	0,0	0,9	0,0	0,3	0,3
Restfraktion	0,4	1,7	2,5	1,2	2,0	1,6
Feinfraktion	27,0	52,0	44,0	48,3	45,6	43,4

8 Theoretisches Modell zu den anlagenspezifischen Anreicherungskurven

Mit Hilfe von anlagenspezifischen Anreicherungskurven sollen Abfallgemische (z.B. Siedlungsabfälle oder Gewerbeabfälle) auf Basis der zuvor durchgeführten Sortieranalysen beschrieben werden. Anhand der Kurven soll die Ausbringung einer bestimmten Ersatzbrennstoffqualität aus der Ersatzbrennstoffproduktion abgeschätzt werden. Daraus kann also die maximal mögliche Ausbeute an EBS unabhängig von der Aufbereitungsanlage bestimmt werden. Aus den Anreicherungskurven ist ersichtlich, wie viel EBS einer bestimmten Qualität aus einem Abfallgemisch mit einer bestimmten Anlagenkonfiguration gewonnen werden kann. Da als Qualitätskriterium der Heizwert herangezogen wird, spricht man auch von Heizwertkennlinien. [1]

Im Rahmen der Masterarbeit wurden anlagenspezifische Anreicherungskurven für alle HD und MB Materialien erstellt. Die dafür notwendigen Heizwerte der Fraktionen wurden aus [27] entnommen (vgl. Tabelle 41). Als Vergleich wurden die Heizwerte mit einer weiteren Literaturquelle [28] verglichen. Für die nachfolgenden Berechnungen wurden die Werte von Heizwert 1 herangezogen. Eine Ausnahme stellt die Fraktion < 11,2 mm dar. In diesem Fall wurden jene Heizwerte verwendet, welche im Labor für Umwelt- und Prozessanalytik an der Montanuniversität Leoben für die einzelnen Ersatzbrennstoffproben der Unternehmen bestimmt wurden.

Tabelle 41: Heizwerte der Fraktionen [27], [28]

Fraktion	Heizwert 1 Hu [kJ/kg TS]	Heizwert 2 Hu [kJ/kg TS]
organische/biogene Abfälle	14.000	15.000
Papier, Pappe und Kartonagen	14.500	17.000
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	38.500	40.000
Verbundstoffe	37.000	22.000
Textilien	19.750	16.000
Glas	0	0
inerte Materialien	0	0
Metalle	0	0
Problemstoffe	15.000	keine Angaben
Sonstiges	0	keine Angaben
Restfraktion*	5.000	keine Angaben
Fraktion < 11,2 mm	8.000	keine Angaben

*: unter der Restfraktion wird jener Anteil der Sortierung verstanden, der aufgrund der zu kleinen Korngröße keiner Fraktion mehr zugeordnet werden konnte (z.B. Staub).

Für die Berechnung der Heizwertkennlinien sind einige mathematische Grundlagen erforderlich. Diese sind in der Tabelle 42 nachzulesen.

Tabelle 42: mathematische Grundlagen für die anlagenspezifischen Anreicherungskurven [27]

Bezeichnung	Formel	Einheit
Heizwert	-	kJ/kg
Masseanteil	μ_i	%
Heizwert der Heizwertklasse	a_i	kJ/kg
Energieinhalt der Heizwertklasse	$\mu_i * a_i$	kJ
Massenausbringung	$R_{mL,j} = \sum_{i=1}^j \mu_i$	%
Energieinhalt im energiereichen Gut	$\sum_{i=1}^j (\mu_i * a_i)$	kJ
Mittlerer Heizwert im energiereichen Gut	$a_{L,j} = \frac{\sum_{i=1}^j (\mu_i * a_i)}{\sum_{i=1}^j \mu_i}$	kJ/kg

Um die Verwendung der Formeln zu demonstrieren ist ein Berechnungsbeispiel (für das Unternehmen 1) angeführt (vgl. Tabelle 43). Bei der Fraktion < 11,2 mm wurde aufgrund der zu großen Abweichungen nicht der Heizwert aus der Literatur für die Berechnung herangezogen. Stattdessen wurde der im Labor ermittelte Heizwert (vgl. Tabelle 45) für die MB Materialien verwendet. Da im Labor nur die MB Materialien analysiert wurden, wurde bei den HD Materialien ein Mittelwert der MB Heizwerte gebildet.

Tabelle 43: Berechnungsbeispiel Unternehmen 1

Fraktion	a_i	μ_i	$R_{mL,j}$	$\mu_i * a_i$	$\sum_{i=1}^j (\mu_i * a_i)$	$a_{L,j}$
	kJ/kg	M-%	Summe M-%	Energieinhalt kJ	Σ Energieinhalt kJ	
Metalle	0	0,4	100,0	0	2.206.514	22.076
Glas	0	3,3	99,5	0	2.206.514	22.175
Inertstoffe	0	3,6	96,2	0	2.206.514	22.941
Sonstiges	0	0,4	92,6	0	2.206.514	23.833
Sortierrest	5.000	0,4	92,2	2.165	2.206.514	23.944
Holz	14.000	11,1	91,7	155.061	2.204.349	24.034
Papier/Pappe/Kartonage	14.500	22,9	80,6	332.600	2.049.288	25.412
Problemstoffe/Batterien	15.000	0,0	57,7	0	1.716.688	29.749
Textilien	19.750	5,4	57,7	105.665	1.716.688	29.749
Fraktion < 11,2 mm	22.363	25,0	52,4	559.075	1.611.023	30.771
Verbundstoffe	37.000	0,8	27,4	30.895	1.051.948	38.454
Kunststofffolien	38.500	26,5	26,5	1.021.054	1.021.054	38.500

Um ein mathematisches Modell für jede einzelne Anreicherungskurve zu erstellen, wurde versucht eine Kurve zu bestimmen, die sich bestmöglich der vorhandenen Kurve annähert. Als mathematisch sinnvollste Lösung hat sich dafür eine Potenzfunktion ($y=A*x^B$) herausgestellt. Beim Vergleich der HD sowie MB Potenzkurven konnten nur geringe

Abweichungen festgestellt werden. Deshalb wurde aus den gesamten Daten (HD und MB) eine gemeinsame Potenzfunktion errechnet. Dadurch können die HD und MB Anreicherungskurven besser miteinander verglichen werden.

In Abbildung 49 bzw. in Abbildung 50 sind die anlagenspezifischen Anreicherungskurven je Firma und Qualität dargestellt.

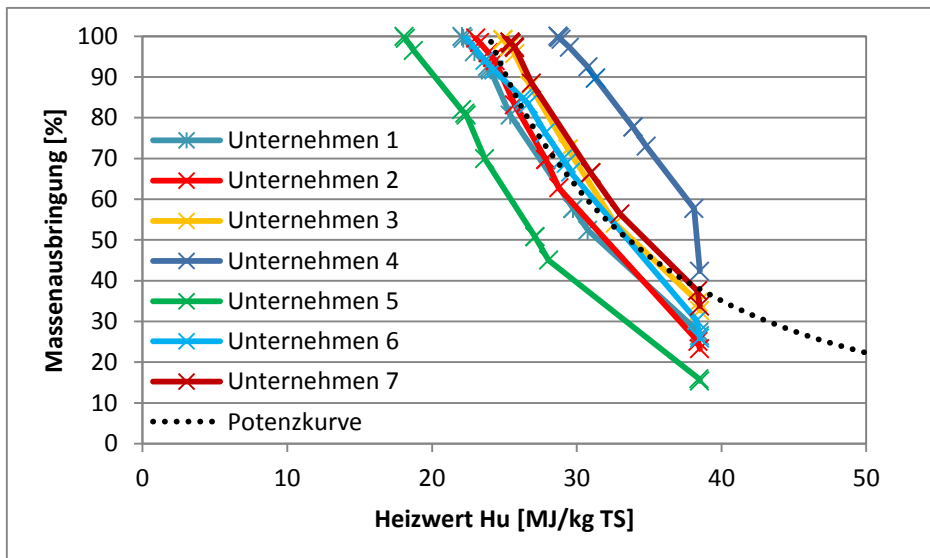


Abbildung 49: anlagenspezifische Anreicherungskurven HD Material

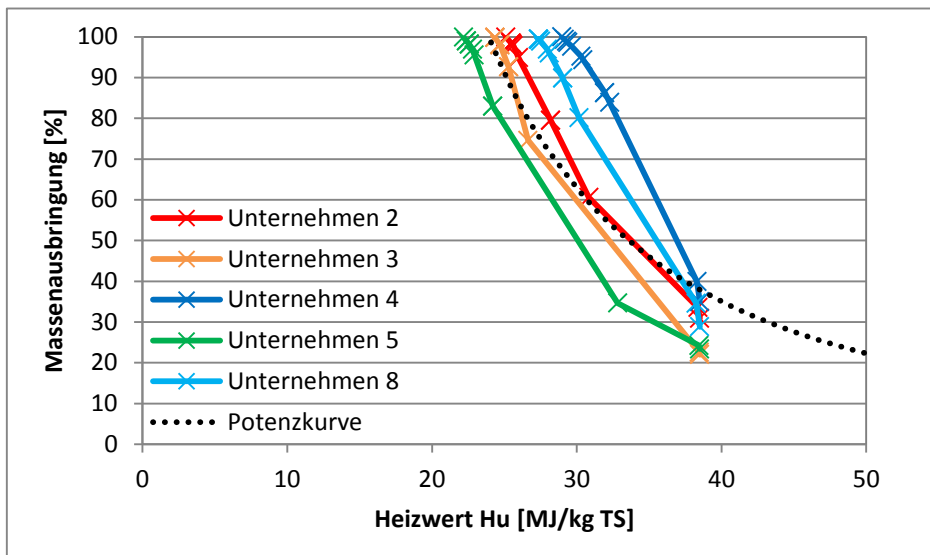


Abbildung 50: anlagenspezifische Anreicherungskurven MB Material

Die Potenzkurve beschreibt die Anreicherungskurven der gesamten HD bzw. MB Materialien unzureichend genau (vgl. Tabelle 44). Die Übereinstimmung beträgt nur 63 – 71 %. Aus diesem Grund ist es wenig sinnvoll eine mathematisch bestimmte Gesamtkurve aufzustellen. Für jede Einzelkurve hingegen ist dies ohne Bedenken möglich. In diesem Fall beträgt die Genauigkeit meist über 90 %. Die Werte für A und B stellen die Potenzfunktion dar.

In Tabelle 44 ist zusätzlich die Bestimmtheit (R^2) der angenäherten Kurven aufgelistet.

Tabelle 44: Potenzfunktion der einzelnen Unternehmen

	A	B	R^2
Unternehmen 1 (HD)	2,587E+12	-2,389	0,98
Unternehmen 2 (HD)	1,736E+14	-2,798	0,98
Unternehmen 2 (MB)	8,143E+13	-2,704	0,99
Unternehmen 3 (HD)	7,021E+12	-2,465	0,99
Unternehmen 3 (MB)	3,159E+16	-3,304	1,00
Unternehmen 4 (HD)	1,927E+12	-2,303	0,89
Unternehmen 4 (MB)	8,845E+17	-3,566	0,95
Unternehmen 5 (HD)	4,360E+12	-2,480	0,95
Unternehmen 5 (MB)	4,238E+13	-2,673	1,00
Unternehmen 6 (HD)	7,169E+12	-2,478	0,93
Unternehmen 7 (HD)	3,372E+12	-2,390	0,99
Unternehmen 8 (MB)	1,849E+17	-3,437	0,98
Gesamt MB	1,552E+12	-2,317	0,71
Gesamt HD	2,062E+10	-1,906	0,63
Gesamt (MB+HD)	7,982E+10	-2,033	0,64

Für alle MB Materialien wurden, wie bereits erwähnt, zusätzlich noch die Heizwerte der kleineren Siebfraktionen bestimmt, um einen Zusammenhang zwischen dem Heizwert und der Massenausbringung in Abhängigkeit der Korngröße feststellen zu können. Die exakten Heizwerte der Korngrößen 40 – 11,2 mm konnten im Labor nicht mehr bestimmt werden, da die Fraktionen für die Sortieranalyse benötigt wurden und nach der Sortierung nur mehr sortenrein vorlagen. Allerdings wurden alle Korngrößen des Sortierrestes (8 mm, 4 mm, 2 mm und Siebrest) für die chemische Bestimmung der Heizwerte (vgl. Kapitel 5.2) herangezogen. Der Heizwert der restlichen Fraktion (40 – 11,2 mm) kann allerdings berechnet werden.

Tabelle 45 beinhaltet die im Labor ermittelten Ergebnisse.

Tabelle 45: Heizwerte bezogen auf die Korngröße – MB Materialien

	8 mm	4 mm	2 mm	Siebrest
Unternehmen 2 MB [kJ/kg TS]	22.400	24.000	23.000	16.000
Unternehmen 3 MB [kJ/kg TS]	24.400	23.600	19.200	16.600
Unternehmen 4 MB [kJ/kg TS]	27.400	26.700	26.000	26.300
Unternehmen 5 MB [kJ/kg TS]	20.800	19.200	18.000	14.100
Unternehmen 8 MB [kJ/kg TS]	27.000	26.100	23.000	17.000

Für die MB Materialien kann zusätzlich folgende Kurve (vgl. Abbildung 51) gezeichnet werden.

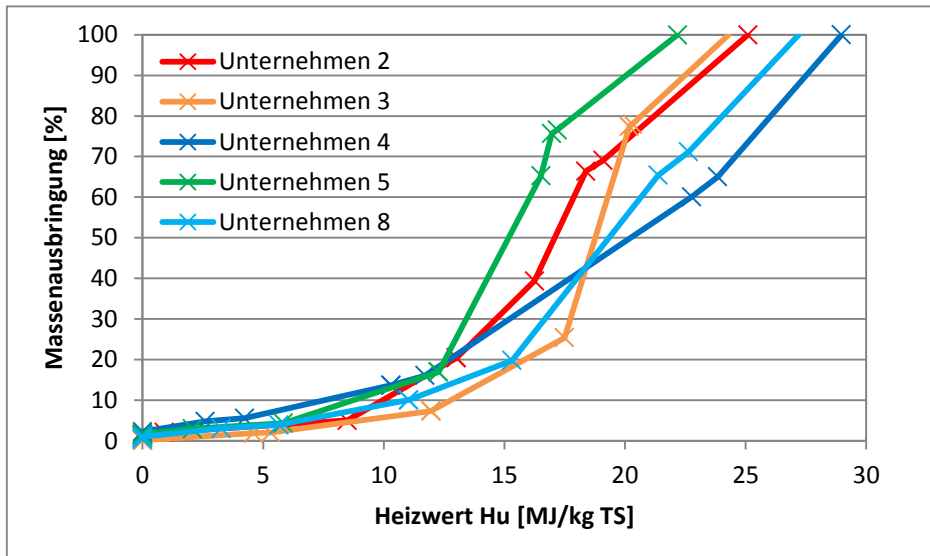


Abbildung 51: Heizwerte bezogen auf die Massenausbringung (MB Materialien)

Die Kurve des Unternehmens 2 ist noch einmal einzeln in Abbildung 52 dargestellt. Man kann aus dem Diagramm erkennen wie sich der Heizwert verhält, wenn man die einzelnen Fraktionen nacheinander aus dem Abfallgemisch entfernen würde. Daraus kann man wertvolle Informationen im Hinblick auf die Aufbereitung gewinnen.

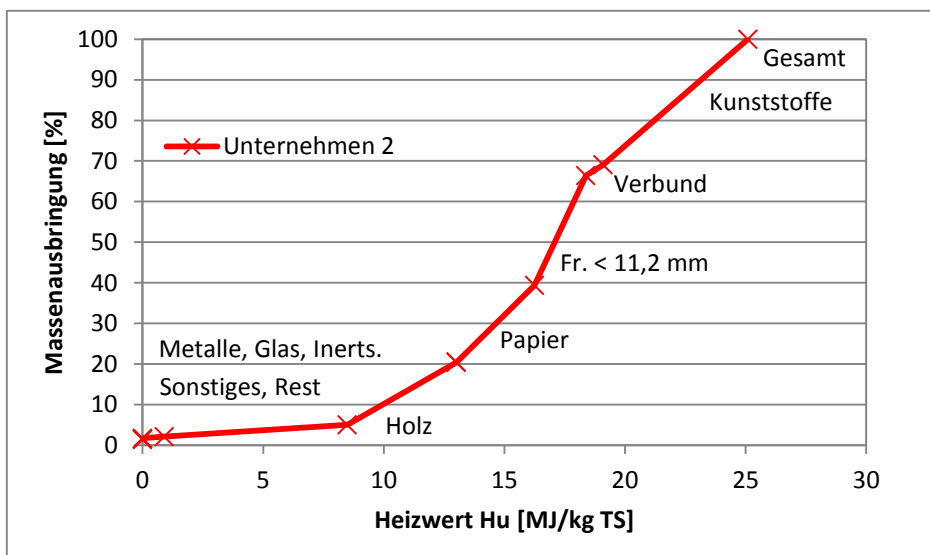


Abbildung 52: Heizwerte bezogen auf die Massenausbringung – Unternehmen 2 (MB Material)

Zusätzlich ist es möglich für alle MB Materialien die Korngröße aus der Siebanalyse gegen den Heizwert aufzutragen (vgl. Abbildung 53) und daraus eine Summenkurve zu bilden. Tabelle 46 beinhaltet die aufsummierten Heizwerte.

Tabelle 46: Heizwerte [MJ/kg TS] ermittelt aus der Siebanalyse

	0 – 2 mm	0 – 4 mm	0 – 8 mm	0 – 11,2 mm	0 – > 11,2 mm	MW
Unternehmen 2	16,0	18,3	21,1	21,5	22,1	19,8
Unternehmen 3	16,6	17,8	20,6	21,5	25,0	20,3
Unternehmen 4	26,3	26,1	26,5	26,8	27,7	26,7
Unternehmen 5	14,1	15,6	17,2	18,0	21,5	17,3
Unternehmen 8	17,0	19,4	22,8	24,0	25,4	21,7

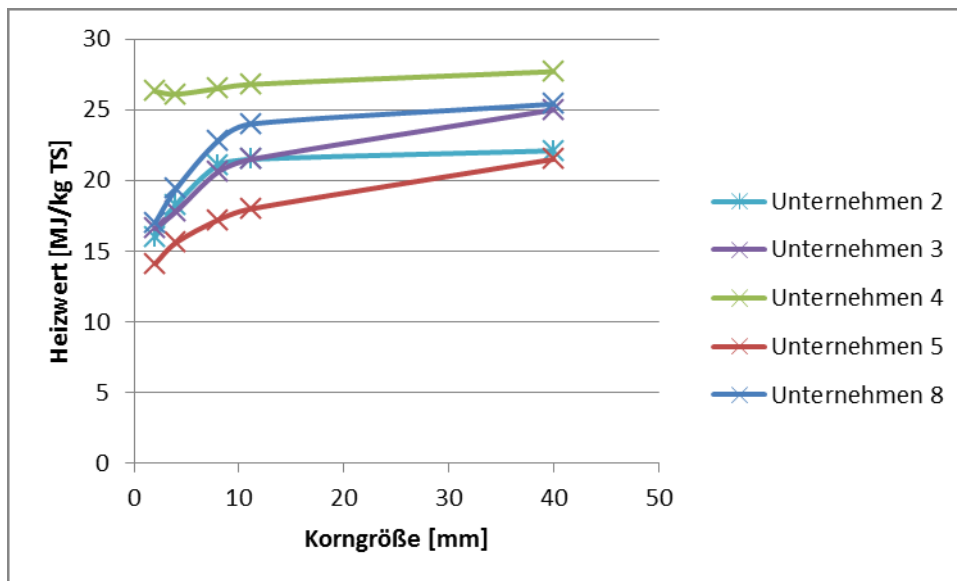


Abbildung 53: Heizwerte bezogen auf die Korngröße der Siebanalyse

Unternehmen 4 produziert mit Abstand die beste Qualität an Ersatzbrennstoffen und hat die geringsten Schwankungen. Es sind sogar nur sehr minimale Abweichungen zwischen der Grob- und der Feinfraktion feststellbar.

9 Ergebnisse / Diskussion

Zum Abschluss werden alle im Laufe der Masterarbeit erhaltenen Ergebnisse, sowohl aus dem Labor als auch von den Sieb- und Sortieranalysen ausgewertet und miteinander verglichen. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf den Vergleich von MB und HD Material sowie auf die Einhaltung der Grenzwerte laut AVV gelegt.

9.1 Diskussion der Ergebnisse der chemischen Analysen

Um beurteilen zu können, ob die einzelnen Unternehmen die Grenzwerte laut Abfallverbrennungsverordnung einhalten, müssen die im Labor analysierten Spurenelemente mithilfe der ebenfalls ermittelten Heizwerte, in die in der Verordnung verwendete Einheit [mg/MJ], umgerechnet werden. Vergleicht man nun die berechneten Werte mit den Grenzwerten laut AVV (vgl. Kapitel 2.2), so erhält man folgende Ergebnisse:

Tabelle 47: Vergleich Spurenelemente mit Grenzwerten laut AVV

	Antimon mg/MJ	Cadmium mg/MJ	Chrom, gesamt mg/MJ	Cobalt mg/MJ	Nickel mg/MJ	Quecksilber mg/MJ	Arsen mg/MJ	Thallium mg/MJ	Blei mg/MJ
Unternehmen 1 (HD)	0,90	0,02	4,72	0,94	3,54	< 0,01	< 0,12	< 0,01	3,68
Unternehmen 2 (HD)	3,63	0,05	1,60	0,22	0,47	< 0,01	< 0,12	< 0,01	14,15
Unternehmen 2 (MB)	8,14	0,06	4,39	0,19	0,38	< 0,01	0,13	< 0,01	4,21
Unternehmen 3 (HD)	0,99	0,40	3,66	0,27	1,99	0,02	0,41	< 0,01	4,45
Unternehmen 3 (MB)	1,04	0,03	4,80	0,23	0,72	0,02	0,10	< 0,01	8,00
Unternehmen 4 (HD)	9,50	0,33	8,72	0,21	0,83	< 0,01	<0,12	< 0,01	9,63
Unternehmen 4 (MB)	1,41	0,04	0,94	0,17	0,36	< 0,01	<0,12	< 0,01	2,27
Unternehmen 5 (HD)	0,97	0,03	3,12	0,24	0,86	0,14	0,34	< 0,01	6,99
Unternehmen 5 (MB)	6,51	0,20	7,44	0,40	1,53	0,10	0,38	< 0,01	19,53
Unternehmen 6 (HD)	1,31	0,05	11,56	0,31	1,51	< 0,01	<0,12	< 0,01	2,76
Unternehmen 7 (HD)	1,13	0,05	1,93	0,22	2,69	0,01	0,29	< 0,01	3,11
Unternehmen 8 (MB)	8,66	0,31	7,87	0,47	0,87	0,01	0,10	< 0,01	8,27
Mittelwert gesamt	3,96	0,13	5,06	0,32	1,31	< 0,03	< 0,19	< 0,01	7,26
Mittelwert HD	3,11	0,13	5,04	0,34	1,70	< 0,03	< 0,22	< 0,01	6,40
Mittelwert MB	5,15	0,13	5,09	0,29	0,77	< 0,03	< 0,17	< 0,01	8,46

Bei den orange hinterlegten Ergebnissen wurde der Grenzwert des Medians laut AVV überschritten (vgl. Tabelle 48). Anhand der Tabelle 47 kann man erkennen, dass die Elemente Antimon und Quecksilber bei einigen Unternehmen zu Überschreitungen geführt haben. Dennoch wurde der Grenzwert des 80-er Perzentils bei keiner einzigen Firma überschritten. Um bessere Aussagen über die Einhaltung der Grenzwerte treffen zu können,

müssten noch einmal mehrere Proben genommen werden und erneut im Labor analysiert werden. Alle grün markierten Ergebnisse liegen unter den gesetzlich festgelegten Grenzwerten.

Tabelle 48: Grenzwerte laut AVV [5]

Parameter	Grenzwerte [mg/MJ TS]	
	Median	80-er Perzentil
Sb	7	10
Hg	0,075	0,15

In der nachfolgenden Tabelle 49 wurden der Median und der 80er Perzentil für alle im Labor analysierten Elemente laut AVV berechnet (vgl. Kapitel 2.2).

Tabelle 49: berechneter Median und 80er Perzentil

	Antimon [mg/MJ]	Cadmium [mg/MJ]	Chrom, gesamt [mg/MJ]	Cobalt [mg/MJ]	Nickel [mg/MJ]	Quecksilber [mg/MJ]	Arsen [mg/MJ]	Thallium [mg/MJ]	Blei [mg/MJ]
Median gesamt	1,36	0,05	4,55	0,23	0,86	< 0,01	< 0,12	< 0,01	5,72
Median HD	1,31	0,05	3,66	0,24	1,51	< 0,01	< 0,12	< 0,01	4,45
Median MB	6,51	0,06	4,80	0,23	0,72	0,01	0,10	< 0,01	8,00
80er Perzentil gesamt	8,14	0,31	7,87	0,4	1,99	0,02	0,34	< 0,01	9,63
80er Perzentil HD	3,63	0,33	8,72	0,31	2,69	0,02	0,34	< 0,01	9,63
80er Perzentil MB	8,40	0,26	7,66	0,44	1,20	0,06	0,26	< 0,01	13,90

Beim Trockenrückstand bewegen sich alle Proben zwischen 70 und 89 %.

Der Chlorgehalt, welcher zusätzlich im Labor bestimmt wurde, hat sich als sehr unterschiedlich herausgestellt. Bei fast allen Unternehmen bewegt er sich zwischen 0,39 und 2,2 %. Bei dem Unternehmen 4 konnte allerdings beim HD Material ein Chlorgehalt von 63.400 mg/kg TS ermittelt werden. Beim Schwefelgehalt wurden geringere Schwankungen zwischen 1.700 – 5.600 mg/kg TS bestimmt. In der Abfallverbrennungsverordnung sind keine Grenzwerte für Chlor und Schwefel festgelegt.

Betrachtet man die Heizwerte, so waren die Heizwerte von MB Material Proben (21.500 – 27.700 kJ/kg TS) erwartungsgemäß deutlich höher als bei den HD Material Proben (18.600 – 21.800 kJ/kg TS). Bei der Verbrennung wird der wichtigste Heizwert in kJ/kg OS angegeben. Bei den HD Material Proben liegt dieser zwischen 12.300 – 18.700 kJ/kg OS und bei den MB Material Proben zwischen 14.700 – 23.100 kJ/kg OS.

Der Aschegehalt betrug zwischen 10 – 26 %.

9.2 Diskussion der Ergebnisse der Siebanalysen

Zusammenfassend sind in der Tabelle 50 noch einmal alle Ergebnisse der Siebanalysen dargestellt. Allgemein ist zu dieser Art der Analyse zu sagen, dass diese ohne größere Probleme durchgeführt werden konnte.

Tabelle 50: Ergebnisse Siebanalysen

	Maschenweite	[mm]	40	30	25	20	16	11,2	8	4	2	0	Summe
Unternehmen 1	Masse	[g]	203,5	360,5	209,0	238,7	309,4	371,3	189,0	182,4	77,5	181,1	2259,4
	HD Material	[%]	9,01	15,96	9,25	10,56	13,69	16,43	8,37	8,07	3,43	5,23	100,0
Unternehmen 2	Masse	[g]	22,2	84,7	120,4	267,3	345,1	636,2	285,6	290,7	119,6	198,8	2370,6
	HD Material	[%]	0,94	3,57	5,08	11,28	14,56	26,84	12,05	12,26	5,05	8,39	100,0
Unternehmen 2	Masse	[g]	93,5	205,9	204,6	499,4	394,3	697,2	242,1	257,6	92,8	185,1	2872,5
	MB Material	[%]	3,26	7,17	7,12	17,39	13,73	24,27	8,43	8,97	3,23	6,44	100,0
Unternehmen 3	Masse	[g]	673,8	288,2	116,0	168,5	146,6	215,1	81,3	119,7	61,8	124,1	1995,1
	HD Material	[%]	33,77	14,45	5,81	8,45	7,35	10,78	4,07	6,00	3,10	6,22	100,0
Unternehmen 3	Masse	[g]	4,1	44,0	38,8	183,3	284,9	427,2	261,3	382,6	195,2	227,1	2048,5
	MB Material	[%]	0,20	2,15	1,89	8,95	13,91	20,85	12,76	18,68	9,53	11,09	100,0
Unternehmen 4	Masse	[g]	402,1	441,2	314,3	363,7	317,5	409,9	150,1	134,8	46,6	76,5	2656,7
	HD Material	[%]	15,14	16,61	11,83	13,69	11,95	15,43	5,65	5,07	1,75	2,88	100,0
Unternehmen 4	Masse	[g]	10,8	111,2	96,0	217,5	368,7	667,1	419,4	446,6	153,2	138,5	2629,0
	MB Material	[%]	0,41	4,23	3,65	8,65	14,02	25,37	15,95	16,99	5,83	5,27	100,0
Unternehmen 5	Masse	[g]	169,7	258,6	188,9	334,3	377,5	492,3	237,6	254,4	100,2	157,6	2571,1
	HD Material	[%]	6,60	10,06	7,35	13,00	14,68	19,15	9,24	9,89	3,90	6,13	100,0
Unternehmen 5	Masse	[g]	12,8	67,1	107,4	213,7	335,9	533,5	274,2	399,9	200,3	316,8	2461,6
	MB Material	[%]	0,52	2,73	4,36	8,68	13,65	21,67	11,14	16,25	8,14	12,87	100,0
Unternehmen 6	Masse	[g]	154,6	246,4	160,7	278,9	418,4	682,3	349,7	350,9	182,8	227,5	3052,2
	HD Material	[%]	5,07	8,07	5,27	9,14	13,71	22,35	11,46	11,50	5,99	7,45	100,0
Unternehmen 7	Masse	[g]	359,6	287,3	268,6	324,5	317,1	358,5	168,7	152,1	56,3	80,4	2373,1
	HD Material	[%]	15,15	12,11	11,32	13,67	13,36	15,11	7,11	6,41	2,37	3,39	100,0
Unternehmen 8	Masse	[g]	53,6	40,4	76,7	227,9	255,0	655,9	324,8	387,4	150,9	231,5	2404,1
	MB Material	[%]	2,23	1,68	3,19	9,48	10,61	27,28	13,51	16,11	6,28	9,63	100,0

In den beiden Abbildungen (Abbildung 54 und Abbildung 55) sind wieder der Siebdurchgang bzw. der Siebrückstand gegen die Korngröße aufgetragen. In diesem Fall wurden alle entnommenen Proben in einem Diagramm, getrennt zwischen HD und MB Material, abgebildet.

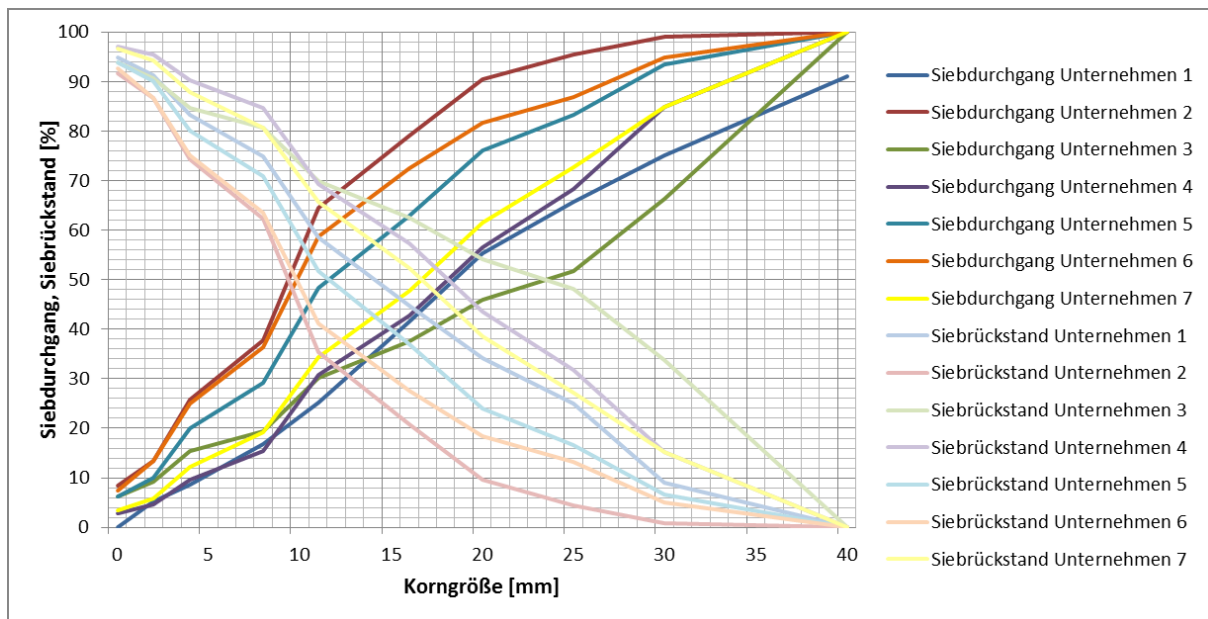


Abbildung 54: Korngrößenverteilung der HD Materialien

Bei den HD Materialien wurde besonders bei dem Unternehmen 3 mit über 30 % ein relativ hoher Anteil der Korngröße > 40 mm festgestellt. Im Vergleich dazu betrug der geringste Anteil derselben Korngröße bei dem Unternehmen 2 nur 0,9 %. Beim Unternehmen 3 ist diese große Menge durch den hohen Anteil an Textilien zu erklären. Durch eine starke Verklumpung des Materials konnte dieses auch nicht durch die Rüttelbewegung des Siebes getrennt werden. In den entnommenen Ersatzbrennstoffproben bestand das meiste Material aus einer Korngröße von 11,2 – 16 mm (~ 18 %). Den mengenmäßig geringsten Anteil bildete die Korngröße zwischen 2 – 4 mm. Hier lag der prozentuelle Anteil bei durchschnittlich 3,7 %.

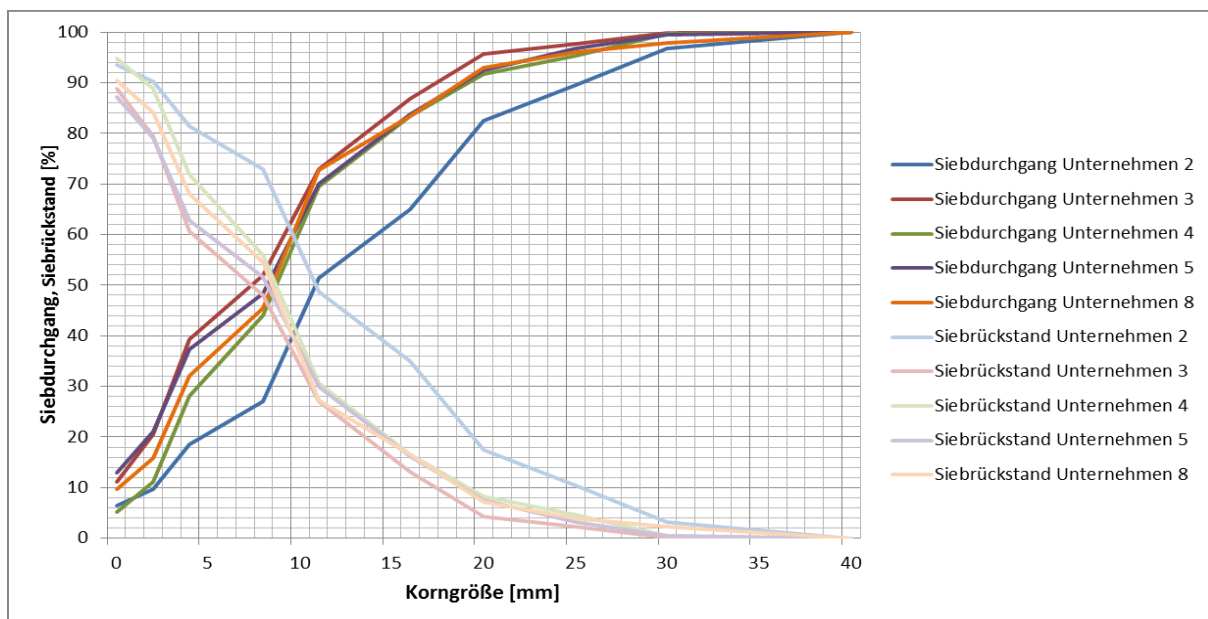


Abbildung 55: Korngrößenverteilung MB Materialien

Beim Main Burner Material konnten beim Unternehmen 2 im Vergleich zu den anderen Unternehmen leichte Abweichungen festgestellt werden. Es konnten größere Mengen an Material in den Siebklassen 30 mm, 25 mm und 20 mm bestimmt werden. Im Vergleich zu den anderen Unternehmen verwendet das Unternehmen 2 ein größeres Sieb (35 mm) als letzte Zerkleinerungsstufe für das MB Material. Auch bei dieser Materialart wurde der mengenmäßig größte Anteil bei der Korngröße zwischen 11,2 – 16 mm ermittelt (~ 24 %). Als geringste Fraktion hat sich die Korngröße > 40 mm mit durchschnittlich nur 1,3 % herausgestellt.

9.3 Diskussion der Ergebnisse der Sortieranalysen

In der nachfolgenden Tabelle 51 sind zusammengefasst alle Ergebnisse der Sortieranalyse für einen besseren Überblick dargestellt. Die Abkürzung U steht für Unternehmen, die Werte sind jeweils in Prozent angegeben. Als Vergleich wurden auch die Ergebnisse der Sortierung von Restmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen aus dem Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWPI) 2011 in die Tabelle aufgenommen.

Tabelle 51: Ergebnisse gesamt - Sortieranalyse

	U1 HD	U2 HD	U2 MB	U3 HD	U3 MB	U4 HD	U4 MB	U5 HD	U5 MB	U6 HD	U7 HD	U8 MB	BAWPI 2011 Restmüll
organisch/biogen	11,08	10,79	2,94	7,82	0,16	2,72	0,76	10,71	1,38	7,14	8,72	0,88	20,50
Papier	22,94	13,47	15,38	15,59	5,33	12,05	8,15	19,20	12,60	6,38	22,01	6,14	12,40
Hygieneartikel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20
Kunststoffe	26,52	23,26	30,92	32,65	22,03	42,31	35,03	15,37	23,37	25,86	33,74	28,85	9,70
Verbundstoffe	0,83	1,82	2,64	2,05	0,57	15,40	4,94	0,57	0,89	4,35	3,74	5,72	9,50
Textilien	5,35	6,89	18,95	18,17	18,04	4,66	2,37	5,71	10,40	2,11	10,10	9,74	5,80
Glas	3,32	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49	2,98	0,00	2,36	0,11	0,02	4,30
inerte Materialien	3,60	2,52	0,00	0,00	0,00	0,45	0,35	14,57	0,85	6,94	0,25	0,17	3,40
Metall	0,45	0,45	1,47	0,89	0,15	0,32	0,64	0,49	0,91	5,95	1,47	0,53	2,90
Problemstoffe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16	0,00	0,00	1,20
Sonstiges	0,43	1,20	0,27	1,72	0,00	1,96	0,87	0,85	0,00	0,51	0,76	0,34	2,50
Restfraktion	0,43	0,83	0,38	1,74	1,74	4,82	2,46	0,43	1,24	0,86	0,25	2,00	-
Feinfraktion	25,05	37,68	27,04	19,37	51,99	15,31	43,95	29,10	48,37	36,37	18,85	45,59	19,60

Bei den Metallgehalten ist auffällig, dass das Unternehmen 6 einen besonders hohen Wert von 6 % aufweist, der auch größer als der Wert aus dem Bundesabfallwirtschaftsplan ist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Betrieb im Vergleich zu den anderen Firmen weniger Magnetabscheider bzw. NE Abscheider im Aufbereitungsprozess verwendet. Des Weiteren konnten bei einem einzigen Unternehmen, nämlich bei dem Probenmaterial des Unternehmens 6, Problemstoffe (Batterien) gefunden werden. Bei dem Unternehmen 6 und bei dem Unternehmen 5 wurden aufgrund der eingesetzten Baustellenabfälle relativ große Mengen an inerten Materialien ermittelt. Alle anderen Firmen verwenden als Inputmaterialien

vor allem Gewerbemüll, Sperrmüll, Hausmüll und Mischkunststoffe. Bei dem Unternehmen 1 konnten große Mengen an Papier und organische Materialien festgestellt werden. Als problematisch haben sich bei der Sortieranalyse die in der Probe vorhandenen Textilien herausgestellt, da diese die einzelnen Materialteile zu Klumpen zusammenhielten. Eine exakte Sortierung nach den einzelnen Fraktionen war daher teilweise schwierig.

Die Mittelwerte der einzelnen Fraktionen wurden bei der Auswertung ebenfalls betrachtet. Einerseits wurden sie für das gesamte untersuchte Material und andererseits jeweils nur für das HD Material und für das MB Material gebildet. (vgl. Tabelle 52).

Tabelle 52: Mittelwerte der einzelnen Fraktionen

	Mittelwert gesamt	Mittelwert HD Material	Mittelwert MB Material
organisch/biogen	5,43	8,41	1,24
Papier, Pappe und Kartonagen	13,27	15,96	9,50
Hygieneartikel	0,00	0,00	0,00
Kunststoffe bzw. Leichtfraktion	28,33	28,53	28,04
Verbundstoffe	3,63	4,11	2,94
Textilien	9,38	7,59	11,88
Glas	0,87	1,42	0,10
inerte Materialien	2,48	4,06	0,26
Metall	1,14	1,43	0,74
Problemstoffe	0,10	0,17	0,00
Sonstiges	0,75	1,07	0,30
Restfraktion	1,42	1,31	1,56
Feinfraktion	33,23	25,97	43,38

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Korngröße, HD und MB Materialien vor allem durch die Feinfraktionsmenge unterscheiden. Diese ist bei den MB Materialien im Durchschnitt fast doppelt so groß wie bei den HD Materialien. Die Kunststoff bzw. Leichtfraktion betrug sowohl bei den MB Materialien als auch bei den HD Materialien im Durchschnitt 28 %. MB Materialien wiesen einen erhöhten Gehalt an Textilien auf. In allen anderen Fraktionen konnten bei den HD Materialien höhere Prozentwerte ermittelt werden. Der Heizwert der HD Materialien wird auch durch den höheren Anteil an inerten Materialien, Glas und Metallen beeinflusst.

In Abbildung 56 bzw. in Abbildung 57 sind noch einmal die Zusammensetzungen der gesamten HD Materialien und der gesamten MB Materialien abgebildet. Die angegebenen Werte stellen die Mittelwerte der verschiedenen Firmen dar und haben als Einheit Prozent.

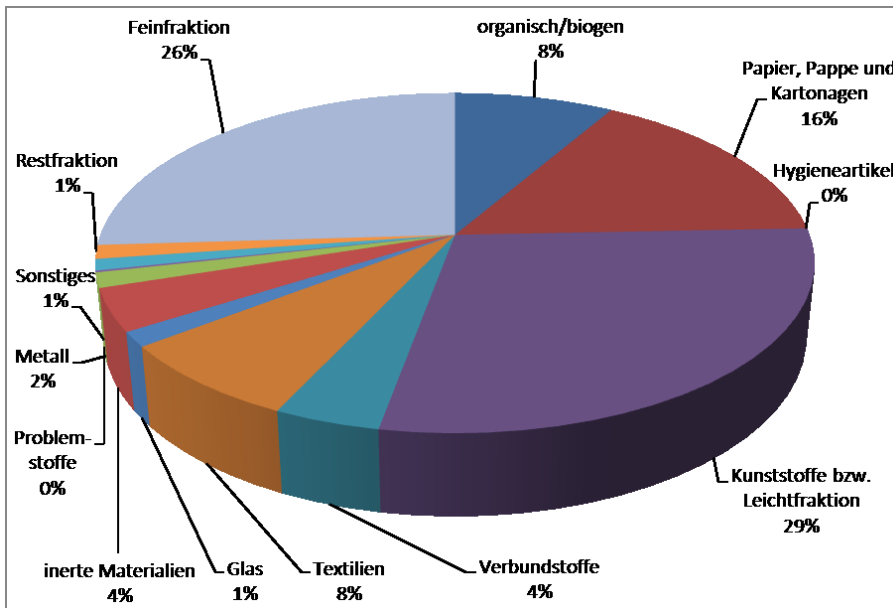


Abbildung 56: Zusammensetzung HD Materialien

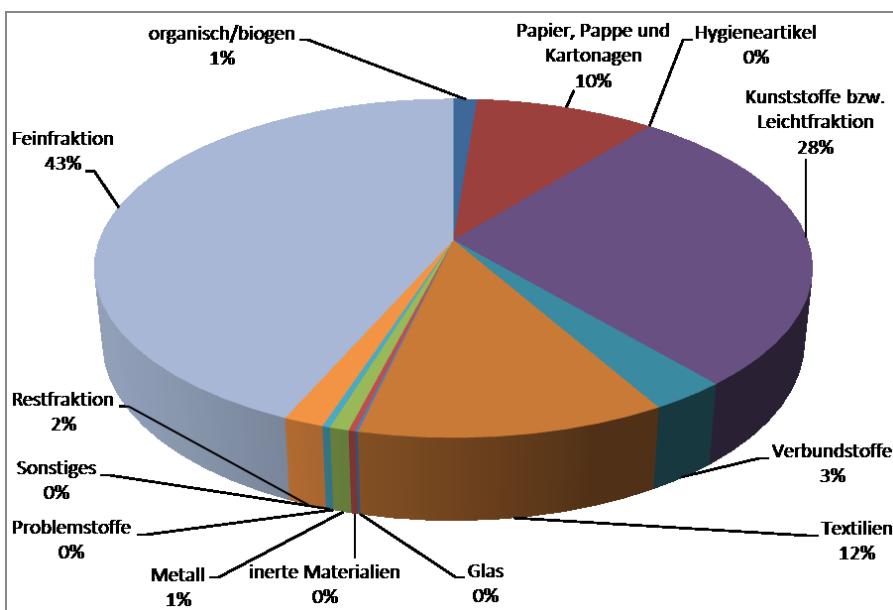


Abbildung 57: Zusammensetzung MB Materialien

9.4 Diskussion der Ergebnisse der anlagenspezifischen Anreicherungskurven

Betrachtet man die anlagenspezifischen Anreicherungskurven der MB Materialien so kann man bei den einzelnen Kurven eine geringere Streuung als bei den HD Materialien erkennen. Bei den MB Ersatzbrennstoffen werden nur geringe Abweichungen nach unten, das heißt zu geringeren Heizwerten, beobachtet. Firmen bei denen die Kennlinie über der Potenzkurve liegt, weisen meist eine erhöhte Kunststofffraktion und somit einen höheren Heizwert auf. Zu den HD Kurven kann man sagen, dass das Unternehmen 4 eine ausgezeichnete Qualität an Ersatzbrennstoffen produziert. Sie hebt sich deutlich von den

anderen Unternehmen ab. Zusätzlich wurde noch der Heizwert in Abhängigkeit der Korngrößenfraktion in Massenprozent für das MB Material betrachtet. Aus den Ergebnissen wird ersichtlich: Je größer die Korngröße umso größer ist auch der Heizwert. Würde man die Feinfraktionen durch ein Sieb entfernen, so kann der Heizwert dadurch gesteigert werden. Alleine bei dem Unternehmen 4 konnte auch in der Feinfraktion ein annähernd gleich guter Heizwert wie bei der Grobfraktion bestimmt werden. Bei allen betrachteten Kurven liegt der Feinfraktionanteil unter 50 %. Bei der gesamten Berechnung wurde bei den Verbundstoffen ein relativ hoher Heizwert von 37.000 kJ/kg TS verwendet, da diese Fraktion optisch betrachtet zu einem großen Anteil aus Kunststoffen bestand. Dies kann allerdings im Laufe der Berechnung zu Abweichungen geführt haben. Beim Vergleich der berechneten Heizwerte und der im Labor bestimmten Heizwerte der Gesamtfraktion konnten Abweichungen von bis zu 13 % festgestellt werden.

10 Zusammenfassung

Das Abfallwirtschaftsgesetz stellt die wichtigste Grundlage der Abfallwirtschaft in Österreich dar und ist daher auch für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen (EBS) von entscheidender Bedeutung. Der Begriff der Abfallvermeidung steht an oberster Stelle und den letzten Ausweg stellt die Abfallbeseitigung dar. In diesem Gesetz ist der Begriff Abfall definiert (objektiver und subjektiver Abfallbegriff) und des Weiteren wird auch auf ein mögliches Abfallende eingegangen. Unter Ersatzbrennstoffen werden Abfälle verstanden, die zur Gänze oder in einem großen Ausmaß in der Energiegewinnung eingesetzt werden und die gewisse Qualitätsanforderungen erfüllen. [4]

Die Abfallverbrennungsverordnung (AVV) gilt für alle Mono- und Mitverbrennungsanlagen. Bei den Mitverbrennungsanlagen unterscheidet man zwischen Anlagen in der Zementerzeugung, Feuerungsanlagen und zwischen sonstigen Mitverbrennungsanlagen. Laut Ziffer 2.14 Anlage 8 müssen Inhaber von Mitverbrennungsanlagen die Einhaltung der Anforderungen dieser Anlage durch eine befugte Fachperson oder Fachanstalt mindestens einmal pro Jahr überprüfen lassen. Die genauen Grenzwerte welche berücksichtigt werden müssen sind ebenfalls in der Verordnung ersichtlich. [5] Im Falle dieser Masterarbeit werden die Ersatzbrennstoffe in Zementwerken eingesetzt. Dazu müssen folgende Werte unbedingt eingehalten werden:

Tabelle 53: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe bei einem Einsatz in Zementwerken [5]

Parameter	Grenzwerte [mg/MJ TM]	
	Median	80-er Perzentil
Sb	7	10
As	2	3
Pb	20	36
Cd	0,45	0,7
Cr	25	37
Co	1,5	2,7
Ni	10	18
Hg	0,075	0,15

Tritt bei Ersatzbrennstoffen ein Abfallende ein, so werden sie anschließend als Ersatzbrennstoffprodukte bezeichnet. Als gebräuchliches Regelwerk hat sich auch die Ersatzbrennstoffrichtlinie herausgestellt. Sie beinhaltet fast die gleichen Grenzwerte wie die AVV allerdings gibt es zusätzliche Vorgaben in Bezug auf die Qualitätssicherung. [6] Ebenfalls existieren zahlreiche Normen, die sich mit EBS beschäftigen. Zu den wichtigsten zählen die ÖNORM 15442 und die ÖNORM 15443. Normen sind Empfehlungen, sie sind somit nicht verbindlich, außer wenn auf sie in einem Gesetzestext verwiesen wird. Die ÖNORM 15442 beschäftigt sich mit der richtigen Probenahmetechnik von Ersatzbrennstoffen. Sie beinhaltet Anleitungen zur Erstellung eines Probenahmeplans, Anleitungen zur Wahl des richtigen Probenahmegerätes, sowie Berechnungen zum Proben-Mindestumfang und zum Mindestumfang einer Einzelprobe. [8] Die zweite Norm mit der Nummer 15443 erklärt Verfahren zur Herstellung einer Laboratoriumsprobe. Oberstes Ziel ist

dabei die Reduktion der Probe auf eine geringere Menge. Die Repräsentativität darf dabei keinesfalls verloren gehen. Eine Reduktion der Korngröße ist mittels Mühlen, Brechern und Shreddern möglich. [9]

Ersatzbrennstoffe können fest, flüssig oder pastös sein. Sie werden aus Haushaltsabfällen, Industrieabfällen oder Gewerbeabfällen hergestellt. Aufgrund der Heterogenität der Abfälle werden sehr unterschiedliche Qualitäten erzeugt. Je nach Korngröße unterscheidet man in dieser Masterarbeit zwischen Hot Disc Materialien (bis ca. 300 mm) und Main Burner Materialien (bis ca. 30 mm). Weitere Beispiele sind Klärschlämme, Tiermehle, Altreifen, Substitutbrennstoffe (Brennstoffe aus Siedlungs- oder Gewerbeabfällen), Altöle, Tierfette, Althölzern und noch viele mehr. Liegt der Abfall sortenrein vor, so kann er direkt als EBS eingesetzt werden. Alle anderen Abfälle müssen vorher entsprechend aufbereitet werden. Für die Ersatzbrennstoffqualität sind mechanische, kalorische, chemische und reaktionstechnische Eigenschaften wichtig. Zu den Industriebranchen bei denen EBS eingesetzt werden können zählen die Bindemittelindustrie, die Eisen- und Stahlindustrie, Kraftwerke und Energieverwertungsanlagen. Da Ersatzbrennstoffe ein erhöhtes Selbstentzündungspotential aufweisen, haben sie ein erhöhtes Brandrisiko bei der Lagerung. Bei Verbrennungen führen sie ebenso häufig wegen des hohen Chlor- und des niedrigen Schwefelgehalts zu Korrosionen. [1], [10], [11], [12]

Nach den theoretischen Grundlagen beginnt der praktische Teil der Masterarbeit mit der richtigen Probenahme bzw. der richtigen Probenvorbereitung. Der Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft an der Montanuniversität Leoben wurde beauftragt eine externe Überprüfung laut AVV durchzuführen. Insgesamt wurde der Abfall aus acht verschiedenen Unternehmen, die jeweils eine Splittinganlage betreiben, beprobt. Waren sowohl HD als auch MB Materialien vorhanden, so wurden immer beide Qualitäten entnommen. Die gesamte Probenahme wurde immer gesetzeskonform, laut AVV durchgeführt und genau protokolliert. Sie erfolgte stets aus einer ruhenden Partie (Abfallhaufen) und als Probenahmegerät wurde eine Probenahmeschaufel eingesetzt. Die Mindestprobenmenge, welche entnommen werden musste, wurde in Abhängigkeit vom Größtkorn aus der ÖNORM 15442 berechnet. Um aus der relativ großen Probenmenge eine Laborprobe herzustellen, wurden die einzelnen Proben zerkleinert (zuerst auf 30 mm und dann auf 0,5 mm), homogenisiert, von Störstoffen befreit und verjüngt (mittels Viertelmethode). Im Anschluss daran konnten zahlreiche chemische Analysen im Labor für Umwelt- und Prozessanalytik ebenfalls an der Montanuniversität Leoben durchgeführt werden.

Um eine Einhaltung der Grenzwerte laut AVV zu überprüfen, wurden im Labor die Spurenelemente Sb, As, Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Tl und Hg in mg/kg TS bestimmt. Im Anschluss daran mussten auch noch die einzelnen Brenn- und Heizwerte bestimmt werden, um die ermittelten Spurenelemente in die Einheit der Verordnung umzurechnen. Um die Analysen zu vervollständigen, wurden auch der Aschegehalt, der Gehalt an Schwefel und Chlor und der Trockenrückstand bestimmt.

Zusätzlich zu den chemischen Analysen wurden auch Sieb- und Sortieranalysen durchgeführt. Dazu mussten immer 2 – 3 kg des Ersatzbrennstoffes pro Firma und Qualität bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet werden, um für alle Proben eine gleiche Ausgangssituation zu schaffen.

Ziel der Siebanalyse war es, die Korngrößenverteilung mittels Siebung in einem Siebturm zu ermitteln. Dafür wurde die Probe immer auf das größte Sieb aufgegeben und im Anschluss wurde der Siebturm für eine definierte Zeit (2 – 3 Minuten) in Bewegung gesetzt. Je nach Korngröße wandern die einzelnen Partikeln durch die Maschenweiten oder auch nicht. Es wurden neun Siebe mit Maschenweiten zwischen 40 und 2 mm verwendet. Nach der Siebung wurden die Massen der Abfälle pro Sieb bestimmt und die entsprechende Korngrößenverteilung konnte ermittelt werden.

Im Anschluss an die Siebanalyse wurde noch eine Sortierung der einzelnen Korngrößen durchgeführt. Händisch sortiert wurden alle Abfälle $\geq 11,2$ mm und zwar in jene Fraktionen, welche laut dem Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 für Restmüll aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen festgelegt wurden. Folgende Gruppen wurden dabei gebildet:

- organische/biogene Abfälle,
- Papier, Pappe und Kartonagen,
- Hygieneartikel,
- Kunststoffe bzw. Leichtfraktion,
- Verbundstoffe,
- Textilien,
- Glas,
- inerte Materialien,
- Metalle,
- Problemstoffe,
- Sonstiges und
- Restfraktion.

Alle Abfälle $\leq 11,2$ mm wurden als Feinfraktion in der späteren Auswertung erfasst.

Betrachtet man die ermittelten Ergebnisse, so halten einige Unternehmen bei jeweils einem Parameter die Grenzwerte des Medians laut AVV nicht ein. Es wurden Grenzwertüberschreitungen bei Antimon und Quecksilber festgestellt. Die untersuchten Ersatzbrennstoffproben weisen einen hohen Chlorgehalt und einen niedrigeren Schwefelgehalt auf. Die Heizwerte sind bei den HD Materialien deutlich niedriger als bei den MB Materialien. EBS mit einer gleichen Qualität zeigen eine ähnliche Korngrößenverteilung auf. Als problematisch haben sich bei der Siebanalyse die im EBS enthaltenen Textilien herausgestellt. Sie führten manchmal zu Verklumpungen des Materials und konnten händisch sehr schwer gelöst werden. Daraus lässt sich teilweise die erhöhte Menge an EBS bei der Maschenweite von 40 mm erklären. Bei der Sortieranalyse variieren die Ergebnisse je nach Inputmaterialien. Die größte aussortierte Fraktion stellte immer die Kunststofffraktion dar. Sie war sowohl bei HD als auch bei MB Materialien immer relativ gleich groß. Die zwei

Materialien unterscheiden sich zum größten Teil in der Feinfraktion. Diese ist bei MB Materialien fast doppelt so groß wie bei HD Materialien. Bei einem Unternehmen wurden Problemstoffe gefunden. Der aussortierte Metallgehalt ist abhängig von der im Aufbereitungsprozess vorhandenen Magnetabscheidern bzw. NE Abscheidern.

Zum Abschluss der Masterarbeit wurden noch anlagenspezifische Anreicherungskurven sowohl für das HD als auch für das MB Material betrachtet. Dadurch soll die Ausbringung einer bestimmten Ersatzbrennstoffqualität aus der Ersatzbrennstoffproduktion abgeschätzt werden. Zusätzlich kann man erkennen, wie viel EBS einer bestimmten Qualität aus einem Abfallgemisch mit einer bestimmten Anlagenkonfiguration gewonnen werden kann. Im Anschluss daran wurde versucht eine Kurve zu bestimmen, die sich bestmöglich an die vorhandenen Kurven annähert. Als sinnvollste Lösung dafür hat sich eine Potenzfunktion herausgestellt. Aufgrund der großen Streuungen ist es wenig sinnvoll ein mathematisches Modell für alle Anreicherungskurven zu erstellen. Für jede Einzelkurve konnte allerdings die entsprechende Potenzfunktion mit einer Genauigkeit von über 90 % ermittelt werden.

11 Verzeichnisse

11.1 Literatur

- [1] Lorber K.; Sarc R.; Pomberger R. (2010): Österreichische Erfahrungen zum Einsatz verschiedener Abfälle als Ersatzbrennstoffe (EBS) und mögliche Anwendungsprobleme. - in: TAKAG 2010 Türkisch-Deutsche Abfalltage. (2010), S. 327 - 348. Oktober 2010.
- [2] Prochaska M., Raber G.; Lorber K. (2005): Forschungsbericht: Herstellung von Ersatzbrennstoffen. März 2005.
- [3] Denner M.; Kügler I. (2006): Erarbeitung eines Beprobungskonzeptes für Ersatzbrennstoffe. Umweltbundesamt (Hrsg.). Projekt ERSA Endbericht. Dezember 2006.
- [4] Bundeskanzleramt Österreich (Hrsg.) (2002): BGBl. I Nr. 102/2002: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz – AWG). Stand: Jänner 2013.
- [5] Bundeskanzleramt Österreich (Hrsg.) (2002): BGBl. II Nr. 389/2002: Bundesgesetz vom 25. Oktober 2002 über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung – AVV). Stand: Jänner 2013.
- [6] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2008): Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Online im WWW unter URL: www.lebensministerium.at/.../Richtlinie_fuer_Ersatzbrennstoffe.pdf. Stand: Februar 2013.
- [7] Bundesministerium für Finanzen (Hrsg.): Normen. Online im WWW unter URL: https://www.usp.gv.at/Portal.Node/usp/public/content/it_und_geistiges_eigentum/normen/Seite.2860000.html. Stand: Februar 2013.
- [8] Austrian Standards Institute (Hrsg.) (2011): ÖNORM EN 15442: Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Probenahme, Europäisches Komitee für Normung (CEN).
- [9] Austrian Standard Institute (Hrsg.) (2011): ÖNORM EN 15443: Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Herstellung von Laboratoriumsproben, Europäisches Komitee für Normung (CEN).

- [10] Beckmann, M.; Horeni M.; Scholz, R. (2005): Schnittstelle und Aufbereitungstiefe von Ersatzbrennstoffen für die energetische Verwertung. Witzenhausen: ISBN 3-928673-45-9.
- [11] Pruckner E. (2003): Energiegewinnung aus Ersatzbrennstoffen – Problemlösung für die Zukunft? Online im WWW unter URL: <http://www.ad-acta-buero.de/stz-veu/Manuskript%20Artikel%20wlb.pdf>. Stand: Jänner 2013.
- [12] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (Hrsg.): Einsatz von Ersatzbrennstoffen in kohlebefeueten Kraftwerken. Merkblatt zur Schadenverhütung. Online im WWW unter URL: http://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_3446_web.pdf. Stand: Jänner 2013.
- [13] Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesamtsdirektion, Referat Kommunikation Land Steiermark (Hrsg.): Brennwert/Heizwert. Online im WWW unter URL: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10009935/4336040/>. Stand: Jänner 2013.
- [14] Pomberger R. (2010): Allgemein zu EBS. Vortrag im Rahmen der Lehrveranstaltung Aufbereitung von Sekundärbrennstoffen – spezielle Abfallaufbereitung. Lehrstuhl für Aufbereitung und Veredelung (Hrsg.), Montanuniversität Leoben, Leoben.
- [15] Riegler J.; Hollauf B. (2010/11): Thermische Abfallverwertung. Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes (Hrsg.), Montanuniversität Leoben, Leoben.
- [16] Szednyj I.; Schindler I. (2004): Umweltbundesamt (Hrsg.): Aktuelle Entwicklungen hinsichtlich Abfalleinsatz und Emissionsminderungstechniken in der Zementindustrie. Online im WWW unter URL: www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE237.pdf. Stand: Jänner 2013.
- [17] Zeschmar-Lahl B. (2002): Der Markt für Ersatzbrennstoffe. 7. Fachtagung Thermische Abfallbehandlung, Berlin, 5.-7. März 2002.
- [18] Sarc R.; Aldrian A. (2011): Montanuniversität Leoben (Hrsg.). Report A: Recommendation on the Development of a Sampling Plant and its Implementation for AFR at a Cement Plant of Holcim in Rohožnik, Slovakia. Juli 2011.
- [19] Pomberger R.; Sarc R. (2013): Montanuniversität Leoben (Hrsg.). Beurteilungsnachweis zur Verbrennung in einer Mitverbrennungsanlage gem. AVV BGBl. II Nr. 389/2002 idgF. Februar 2013.

- [20] Austrian Standards Institute (Hrsg.) (2011): ÖNORM EN 15411: Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Spurenelementen (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V und Zn), Europäisches Komitee für Normung (CEN).
- [21] Austrian Standard Institute (Hrsg.) (2000): ÖNORM EN 12880: Charakterisierung von Schlämmen. Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehaltes, Europäisches Komitee für Normung (CEN).
- [22] Sager D.; Aldrian A. (2010): Laborübung zu angewandte Umweltanalytik. Aufschluss mit Mikrowelle zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils an Metallen. Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik (Hrsg.), Montanuniversität Leoben, Leoben.
- [23] Butzer D.: Paul-Ehrlich-Schule (Hrsg.): Siebanalyse. Online im WWW unter URL: [http://www.paul-ehrlich-schule.de/siebanalyse616/Siebanalyse\(daniela_butzer\).ppt](http://www.paul-ehrlich-schule.de/siebanalyse616/Siebanalyse(daniela_butzer).ppt). Stand: Jänner 2013.
- [24] Studienvertretung Industrieller Umweltschutz, Entsorgungstechnik und Recycling (Hrsg.): Probenaufbereitung und Aufschluss. Online im WWW unter URL: <http://stviu.wordpress.com/probenaufbereitung-und-aufschluss/#>. Stand: April 2013.
- [25] Austrian Standard Institute (Hrsg.) (2010): ÖNORM EN 15415-1: Feste Sekundärbrennstoffe – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung. Part 1: Siebverfahren für kleine Partikel. Europäisches Komitee für Normung (CEN).
- [26] Rhein, H. (2003): Sortieranalysen im Verpackungsbereich. Online im WWW unter URL: www.umweltkanzlei.de/Upload/.../2/Sortieranalysen_ID26.pdf. Stand: Jänner 2013.
- [27] Pomberger, R. (2008): Entwicklung von Ersatzbrennstoff für das HOTDISC-Verfahren und Analyse der abfallwirtschaftlichen Relevanz. Dissertation am Lehrstuhl für Entsorgungs- und Deponietechnik (Hrsg.), Montanuniversität Leoben, Leoben.
- [28] Martens, H. (2011): Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. ISBN 978-3-8274-2640-6.

11.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
%	Prozent
§	Paragraph
<	kleiner
>	größer
a	Jahr
Abs.	Absatz
AG	Aktiengesellschaft
As	Arsen
AVV	Abfallverbrennungsverordnung
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BAWPI	Bundesabfallwirtschaftsplan
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
BRAM	Brennstoff aus Müll
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cd	Cadmium
CEN	Europäisches Komitee für Normung
Cl	Chlor
Co	Cobalt
Cr	Chrom
EBS	Ersatzbrennstoff
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	europäische Norm
g	Gramm
GesmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GewO	Gewerbeordnung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HD	Hot Disc
Hg	Quecksilber
Hrsg.	Herausgeber
idgF	in der geltenden Fassung
ISO Norm	internationale Norm
K	Kalium
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
KOH	Kaliumhydroxid
kW	Kilowatt

I	Liter
LIN	lineare Darstellung
m ³	Kubikmeter
MB	Main Burner
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlung
mg	Milligramm
min.	Minute
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
mol	Einheit der Stoffmenge
MVA	Müllverbrennungsanlage
Na	Natrium
NE Abscheider	Nichteisenabscheider
Ni	Nickel
ÖNORM	österreichische Norm
OS	Originalsubstanz
Pb	Blei
PCB	polychlorierte Biphenyle
PVC	Polyvinylchlorid
RFA	Röntgenfluoreszenzanalyse
S	Schwefel
Sb	Antimon
spez.	speziell
t	Tonne
Tl	Thallium
TM	Trockenmasse
TOC	organischer Gesamtkohlenstoff
TS	Trockensubstanz
U	Unternehmen
WID	Waste Incineration Directive = AVV
Z	Ziffer
z.B.	zum Beispiel

11.3 Tabellen

Tabelle 1: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe bei Anlagen zur Zementerzeugung	8
Tabelle 2: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe in Kraftwerksanlagen	8
Tabelle 3: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe in sonstigen Mitverbrennungsanlagen.....	8
Tabelle 4: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffprodukte (außer Holzabfälle).....	10
Tabelle 5: Unternehmen bei denen eine Probenahme durchgeführt wurde	26
Tabelle 6: ermittelte Probenahmemengen und tatsächlich genommene Probe	28
Tabelle 7: Gewichtsverlust bei der Trocknung	30
Tabelle 8: Ergebnisse der untersuchten Spurenelemente	33
Tabelle 9: Brennwert und Heizwerte der Ersatzbrennstoffproben	34
Tabelle 10: Trockenrückstände	35
Tabelle 11: Siebergebnis Unternehmen 1 (HD Material).....	39
Tabelle 12: Siebergebnis Unternehmen 2 (HD Material).....	40
Tabelle 13: Siebergebnis Unternehmen 2 (MB Material)	41
Tabelle 14: Siebergebnis Unternehmen 3 (HD Material).....	42
Tabelle 15: Siebergebnis Unternehmen 3 (MB Material)	43
Tabelle 16: Siebergebnis Unternehmen 4 (HD Material).....	44
Tabelle 17: Siebergebnis Unternehmen 4 (MB Material)	45
Tabelle 18: Siebergebnis Unternehmen 5 (HD Material).....	46
Tabelle 19: Siebergebnis Unternehmen 5 (MB Material)	47
Tabelle 20: Siebergebnis Unternehmen 6 (HD Material).....	48
Tabelle 21: Siebergebnis Unternehmen 7 (HD Material).....	49
Tabelle 22: Sortierergebnis Unternehmen 8 (MB Material)	50
Tabelle 23: Massenprozentage aller untersuchten Unternehmen mit HD Materialien	51
Tabelle 24: Massenprozentage aller untersuchten Unternehmen mit MB Materialien.....	51
Tabelle 25: Siebrückstände [%] aller untersuchten Unternehmen mit HD Materialien.....	52
Tabelle 26: Siebrückstände [%] aller untersuchten Unternehmen mit MB Materialien	52
Tabelle 27: Sortierergebnis Unternehmen 1 (HD Material)	56
Tabelle 28: Sortierergebnis Unternehmen 2 (HD Material)	57
Tabelle 29: Sortierergebnis Unternehmen 2 (MB Material)	58
Tabelle 30: Sortierergebnis Unternehmen 3 (HD Material)	59

Tabelle 31: Sortierergebnis Unternehmen 3 (MB Material)	60
Tabelle 32: Sortierergebnis Unternehmen 4 (HD Material)	61
Tabelle 33: Sortierergebnis Unternehmen 4 (MB Material)	62
Tabelle 34: Sortierergebnis Unternehmen 5 (HD Material)	63
Tabelle 35: Sortierergebnis Unternehmen 5 (MB Material)	64
Tabelle 36: Sortierergebnis Unternehmen 6 (HD Material)	65
Tabelle 37: Sortierergebnis Unternehmen 7 (HD Material)	66
Tabelle 38: Sortierergebnis Unternehmen 8 (MB Material)	67
Tabelle 39: Sortierergebnis HD Materialien	68
Tabelle 40: Sortierergebnis MB Materialien	68
Tabelle 41: Heizwerte der Fraktionen	69
Tabelle 42: mathematische Grundlagen für die anlagenspezifischen Anreicherungskurven	70
Tabelle 43: Berechnungsbeispiel Unternehmen 1	70
Tabelle 44: Potenzfunktion der einzelnen Unternehmen	72
Tabelle 45: Heizwerte bezogen auf die Korngröße – MB Materialien	72
Tabelle 46: Heizwerte [MJ/kg TS] ermittelt aus der Siebanalyse	74
Tabelle 47: Vergleich Spurenelemente mit Grenzwerten laut AVV	75
Tabelle 48: Grenzwerte laut AVV	76
Tabelle 49: berechneter Median und 80er Perzentil	76
Tabelle 50: Ergebnisse Siebanalysen	77
Tabelle 51: Ergebnisse gesamt - Sortieranalyse	79
Tabelle 52: Mittelwerte der einzelnen Fraktionen	80
Tabelle 53: Grenzwerte für Ersatzbrennstoffe bei einem Einsatz in Zementwerken	83

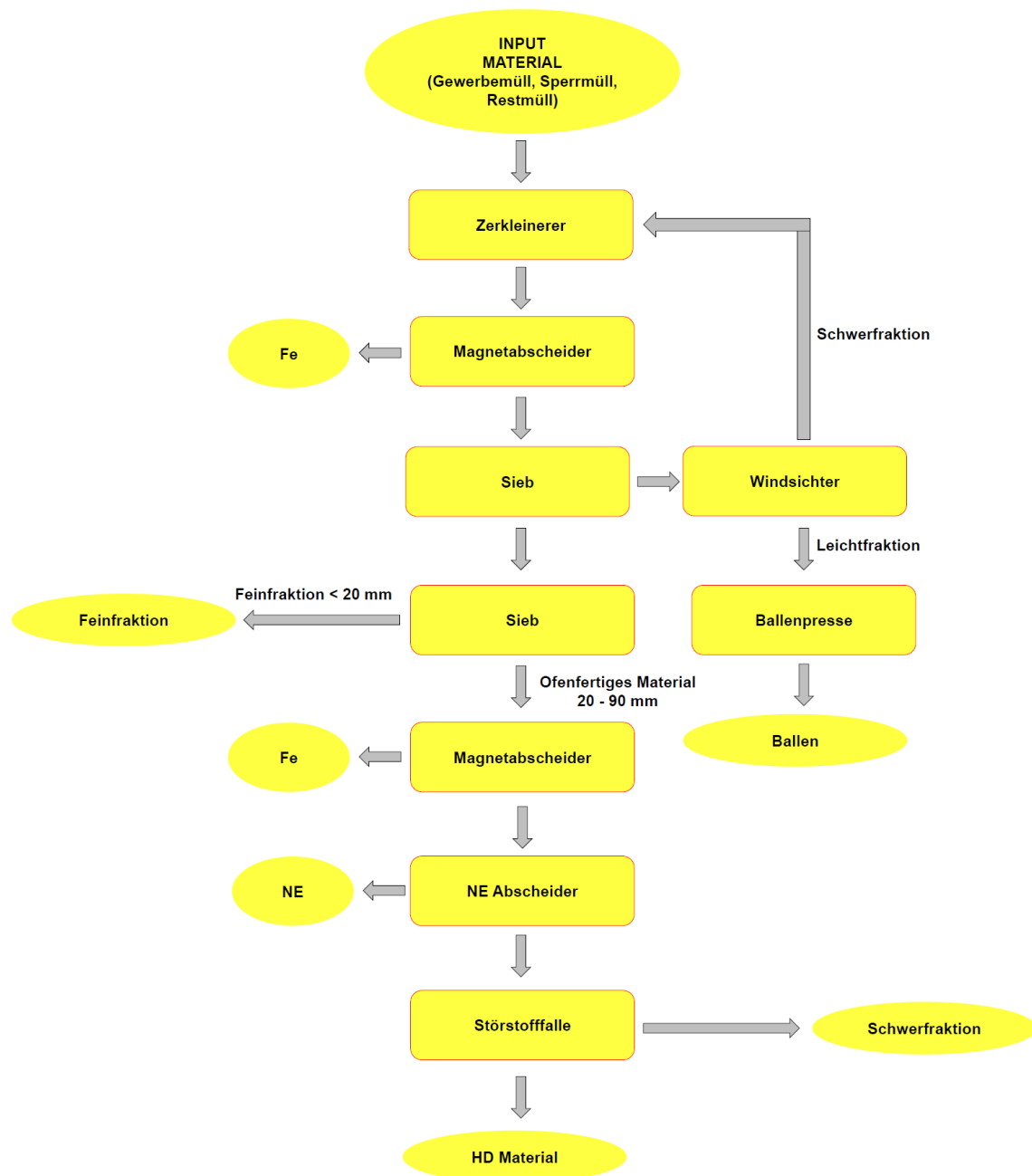
11.4 Abbildungen

Abbildung 1: Einzelne Elemente zur Aufstellung eines Probenahmeplans	12
Abbildung 2: Vorgehensweise bei der Probenvorbereitung	15
Abbildung 3: Schema einer Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlage aus Rest- und Gewerbemüll	20
Abbildung 4: Einsatzbereiche unterschiedlicher Ersatzbrennstoffe in Abhängigkeit von der Korngröße und vom Heizwert.....	23
Abbildung 5: Probenahme	27
Abbildung 6: Doppelwellenzerkleinerer – Probenverjüngung – Schneidmühle.....	29
Abbildung 7: Probenahme- und Aufbereitungskonzept.....	29
Abbildung 8: Trockenschrank und Proben bei der Trocknung.....	30
Abbildung 9: Funktionsweise einer Mikrowelle	32
Abbildung 10: Bombenkalorimeter.....	34
Abbildung 11: Siebmaschine	36
Abbildung 12: Korngrößen > 40 mm (links) und 30 – 40 mm (rechts)	37
Abbildung 13: Korngrößen 25 – 30 mm (links) und 20 – 25 mm (rechts)	37
Abbildung 14: Korngrößen 16 – 20 mm (links) und 11,2 – 16 mm (rechts)	38
Abbildung 15: Korngrößen 8 – 11,2 mm (links) und 4 – 8 mm (rechts)	38
Abbildung 16: Korngrößen 2 – 4 mm (links) und < 2 mm (rechts)	38
Abbildung 17: Korngrößenverteilung Unternehmen 1 (HD Material)	39
Abbildung 18: Korngrößenverteilung Unternehmen 2 (HD Material)	40
Abbildung 19: Korngrößenverteilung Unternehmen 2 (MB Material)	41
Abbildung 20: Korngrößenverteilung Unternehmen 3 (HD Material)	42
Abbildung 21: Korngrößenverteilung Unternehmen 3 (MB Material)	43
Abbildung 22: Korngrößenverteilung Unternehmen 4 (HD Material)	44
Abbildung 23: Korngrößenverteilung Unternehmen 4 (MB Material)	45
Abbildung 24: Korngrößenverteilung Unternehmen 5 (HD Material)	46
Abbildung 25: Korngrößenverteilung Unternehmen 5 (MB Material)	47
Abbildung 26: Korngrößenverteilung Unternehmen 6 (HD Material)	48
Abbildung 27: Korngrößenverteilung Unternehmen 7 (HD Material)	49
Abbildung 28: Korngrößenverteilung Unternehmen 8 (MB Material)	50

Abbildung 29: Mittelwerte der Siebanalyse	51
Abbildung 30: Summenkurve der Mittelwerte der Siebanalyse	52
Abbildung 31: Sortierfraktionen Papier (links) und organische/biogene Abfälle (rechts).....	54
Abbildung 32: Sortierfraktionen Kunststoffe (links) und Verbundmaterialien (rechts)	54
Abbildung 33: Sortierfraktionen Textilien (links) und Glas (rechts).....	54
Abbildung 34: Sortierfraktionen inerte Materialien (links) und Metalle (rechts).....	55
Abbildung 35: Sortierfraktionen Problemstoffe (links) und Sonstiges (rechts)	55
Abbildung 36: Sortierrest	55
Abbildung 37: Einzelne Fraktionen Unternehmen 1 (HD Material).....	56
Abbildung 38: Einzelne Fraktionen Unternehmen 2 (HD Material).....	57
Abbildung 39: Einzelne Fraktionen Unternehmen 2 (MB Material).....	58
Abbildung 40: Einzelne Fraktionen Unternehmen 3 (HD Material).....	59
Abbildung 41: Einzelne Fraktionen Unternehmen 3 (MB Material).....	60
Abbildung 42: Einzelne Fraktionen Unternehmen 4 (HD Material).....	61
Abbildung 43: Einzelne Fraktionen Unternehmen 4 (MB Material).....	62
Abbildung 44: Einzelne Fraktionen Unternehmen 5 (HD Material).....	63
Abbildung 45: Einzelne Fraktionen Unternehmen 5 (MB Material).....	64
Abbildung 46: Einzelne Fraktionen Unternehmen 6 (HD Material).....	65
Abbildung 47: Einzelne Fraktionen Unternehmen 7 (HD Material).....	66
Abbildung 48: Einzelne Fraktionen Unternehmen 8 (MB Material).....	67
Abbildung 49: anlagenspezifische Anreicherungskurven HD Material	71
Abbildung 50: anlagenspezifische Anreicherungskurven MB Material	71
Abbildung 51: Heizwerte bezogen auf die Massenausbringung (MB Materialien).....	73
Abbildung 52: Heizwerte bezogen auf die Massenausbringung – Unternehmen 2 (MB Material).....	73
Abbildung 53: Heizwerte bezogen auf die Korngröße der Siebanalyse.....	74
Abbildung 54: Korngrößenverteilung der HD Materialien	78
Abbildung 55: Korngrößenverteilung MB Materialien	78
Abbildung 56: Zusammensetzung HD Materialien	81
Abbildung 57: Zusammensetzung MB Materialien.....	81

Anhang

Vertretend für alle Unternehmen ist ein Fließbild des Unternehmens 1 (HD Material) abgebildet. Im Anschluss ist ein beispielhaftes Probenahmeprotokoll, welches bei allen Unternehmen angefertigt wurde, ersichtlich.



ÖNORM S 2127:2011

Probenahmeprotokoll**Anhang A
(normativ)****Formulare****A.1 Abfallinformation an die befugte Fachperson oder Fachanstalt für Abfallhaufen (ausgenommen Aushubmaterial) und feste Abfälle aus Behältnissen oder Transportfahrzeugen**

Eindeutige Kennung (zB Nr.): Unternehmen 1	Projektbezeichnung: Externe Überprüfung
Abfallbesitzer (Name, Anschrift):	
GLN (falls registriert):	
Ansprechpartner/Kontakt:	

Angaben zur Herkunft des Abfalls

Der zu untersuchende Abfall stammt aus einem/einer <input type="checkbox"/> Produktions-/ Energiegewinnungsprozess <input type="checkbox"/> Sammeltätigkeit <input checked="" type="checkbox"/> Abfallbehandlungsprozess <input type="checkbox"/> Sonstiges
Kurzbeschreibung des Prozesses, bei dem der Abfall angefallen ist: Zerkleinerung -) Magnetscheider -) Sieb -) Sieb -) Magnetscheider -) NE Abscheider -) Störstofffalle
Angabe relevanter Inputstoffe in den Prozess (insbesondere bei Abfallbehandlung): Gewerbemüll (SN 91.101), Sperrmüll (SN 91.401), geringe Mengen Restmüll
Sonstige Angaben zur Abfallherkunft: -

ÖNORM S 2127:2011

Angaben zum vorliegenden Abfall

Bezeichnung des Abfalls (SN, falls bekannt): 91108 EBS qualitätsgesichert		
Gesamte Abfallmenge in m ³ :	Durchschnittliche Dichte in t/m ³ : 0,142 t/m ³	Gesamte Abfallmenge in t:
Ort der Lagerung:		
Art der Lagerung des Abfalls: Lagerung <input checked="" type="checkbox"/> überdacht <input checked="" type="checkbox"/> im Freien <input type="checkbox"/> geschlossen <input checked="" type="checkbox"/> offen <input checked="" type="checkbox"/> Lagerung als Haufen <input type="checkbox"/> Lagerung in Transportfahrzeugen/Containern Anzahl und Größe der Container:		
<input type="checkbox"/> Sonstige Lagerung, Beschreibung: —		
Lagerung in dieser Form seit:		
Angabe zur Qualität: <input type="checkbox"/> keine Verunreinigung bekannt/offensichtlich/zu vermuten <input type="checkbox"/> Verunreinigung bekannt <input checked="" type="checkbox"/> Verunreinigung offensichtlich <input type="checkbox"/> Verunreinigung zu vermuten Beschreibung der bekannten/offensichtlichen/vermuteten Verunreinigung: Verunreinigungen durch organische Reste		
Sonstige Angaben zum Abfall (zB allfällige frühere chemische Untersuchungen, Informationen bzgl. Schadstoffgehalte oder sonstiger relevanter Eigenschaften bestimmter Inputstoffe in den Prozess u. dgl.): siehe Vorinformationen		

Datum

Unterschrift des Abfallbesitzers

ÖNORM S 2127:2011

A.3 Probenahmeplan zur Untersuchung eines Abfallhaufens oder eines festen Abfalls aus Behältnissen oder Transportfahrzeugen

Eindeutige Kennung (zB Nr.): Unternehmen 1		Projektbezeichnung: externe Überprüfung
Abfallbesitzer (Name, Anschrift):		
GLN (falls registriert):		
Ansprechpartner Abfallbesitzer/Kontakt:		
befugte Fachperson oder Fachanstalt, die die grundlegende Charakterisierung durchführt: Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft, Montanuniversität Leoben		Ersteller des Probenahmeplans: DI Renato Sarc
Angaben zur geplanten Untersuchung:		
Ziel der Untersuchung: <input type="checkbox"/> Deponierung <input type="checkbox"/> Verwertung <input checked="" type="checkbox"/> Sonstiges: jährliche Überprüfung gemäß AVV		
Gesamtmenge der Abfallcharakterisierung (des zu untersuchenden Abfalls) in t:		Größe einer Teilmenge der Abfallcharakterisierung (Beurteilungsmaßstab) in t: -
Anzahl an Teilmengen: -	Anzahl an qualifizierten Stichproben pro Teilmenge: 1	(voraussichtliche) Abfallschlüsselnummer: 91108
Erwartete Qualitätsklasse: -		Sonstige Vorgaben zur Durchführung der Probenahme (zB Sicherheitsvorkehrungen): Schutzeinrichtung (Handschuhe und Sicherheitsschuhe)

Pro qualifizierter Stichprobe sind zumindest 10 Stichproben – möglichst gleichmäßig über die Teilmenge verteilt – zu bilden; die Mindestprobenmenge einer Stichprobe errechnet sich aus dem Größtkorn gemäß den Vorgaben unter 5.2. dieser ÖNORM

Datum

Unterschrift

ÖNORM S 2127:2011

A.4 Probenahmeprotokoll von Abfällen

Eindeutige Kennung (zB Nr.): Unternehmen 1	Projektbezeichnung:
Abfallbesitzer (Name, Anschrift, GLN):	
Ansprechpartner Abfallbesitzer/Kontakt:	

Probenahme

Probenehmer (Name, Institution, Kontakt): DI Renato Sarc Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft Franz Josef Straße 18, 8700 Leoben renato.sarc@unileoben.ac.at, 03842/402-5105			
Ort der Probenahme:			
Datum der Probenahme: 11.12.2012	Neben dem Probenehmer anwesende Personen: Kontaktperson des Unternehmens Melanie Rogetzer, BSc		
Beprobte Gesamtmasse des Abfalls in t: -	Gesamtanzahl an qualifizierten Stichproben: 1	Masse der einzelnen qualifizierten Stichproben in kg: 28,8 kg	Anzahl der Stichproben pro qualifizierter Stichprobe (zumindest 10): 6 laut AVV
Wurden Vergleichsproben entnommen? <input checked="" type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, durch (Institution, Probenehmer):		Art der Probenahme <input type="checkbox"/> Schurf <input type="checkbox"/> Bohrung <input checked="" type="checkbox"/> Sonstiges Probenahme schaufel Angaben zum Probentransport <input type="checkbox"/> offen <input checked="" type="checkbox"/> verschlossen	
Bei der Probenahme wahrgenommene Kontamination: (zB mit Schadstoffen, KW, anorganischen oder organischen Abfällen u. dgl.), Reaktionen (zB Gasbildung) oder sonstige Auffälligkeiten: organische Abfälle			

ÖNORM S 2127:2011

Beschreibung und Charakteristik der qualifizierten Stichproben
(je qualifizierter Stichprobe ist eine Spalte auszufüllen)

Probenbezeichnung: 101	Probenbezeichnung: -	Probenbezeichnung: -	Probenbezeichnung: -
Räumliche/örtliche Zuordnung*): Zufallsprinzip	Räumliche/örtliche Zuordnung*): -	Räumliche/örtliche Zuordnung*): -	Räumliche/örtliche Zuordnung*): -
Tiefenstufe: -	Tiefenstufe: -	Tiefenstufe: -	Tiefenstufe: -
Anmerkung/Abweichungen: -	Anmerkung/Abweichungen: -	Anmerkung/Abweichungen: -	Anmerkung/Abweichungen: -
*) zB Nummer Transportfahrzeug, Mulde, Haufen u. dgl.			

Probenbezeichnung: -	Probenbezeichnung: -	Probenbezeichnung: -	Probenbezeichnung: -
Räumliche/örtliche Zuordnung*): -	Räumliche/örtliche Zuordnung*): -	Räumliche/örtliche Zuordnung*): -	Räumliche/örtliche Zuordnung*): -
Tiefenstufe: -	Tiefenstufe: -	Tiefenstufe: -	Tiefenstufe: -
Anmerkung/Abweichungen: -	Anmerkung/Abweichungen: -	Anmerkung/Abweichungen: -	Anmerkung/Abweichungen: -
*) zB Nummer Transportfahrzeug, Mulde, Haufen u. dgl.			

ÖNORM S 2127:2011

Nähere Angaben zum beprobten Abfall

Farbe des Abfalls: grau, nicht eindeutig (teilweise gemischt)	Geruch: <input checked="" type="checkbox"/> Ja, nach: teilweise abgebauten organischen Resten <input type="checkbox"/> Nein
Korngröße: von 2 bis 9 cm Größtkorn (95%-Perzentil, geschätzt): 9 cm	Konsistenz <input checked="" type="checkbox"/> fest und trocken <input type="checkbox"/> schlammig oder pastös <input type="checkbox"/> fest und feucht <input type="checkbox"/> staubend oder pulvrig
Farbe homogen: <input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein Geruch homogen: <input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein Korngröße homogen: <input type="checkbox"/> Ja <input checked="" type="checkbox"/> Nein	Maßnahmen im Fall von Inhomogenität: bei KG: größere Probenmenge gemäß ÖNORM 15442
Hinweise auf das Zutreffen von gefahrenrelevanten Eigenschaften (91/689/EWG, Anhang III) <input checked="" type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja, welche?	

Abweichungen zum Probenahmeplan:

Abweichungen zum Probenahmeplan (zB Abfallmasse, Anzahl an Teilmengen oder qualifizierten Stichproben):

keine

Diesem Probenahmeprotokoll hat jedenfalls beizuliegen (auch gemäß 6.1):

- Skizze oder Fotodokumentation, die die Probenahmesituation ausreichend beschreibt
- Foto des beprobten Materials, bei dem Korngrößenverteilung, Farbe und Zusammensetzung des beprobten Materials erkennbar sind

Datum_____
Unterschrift des Probennehmers