

Dissertation

**Entwicklung von
Ersatzbrennstoff für das
HOTDISC-Verfahren
und Analyse der abfall-
wirtschaftlichen Relevanz**

erstellt am

**Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft
und Entsorgungstechnik (IAE)
an der
Montanuniversität Leoben**

Vorgelegt von:

Roland Pomberger
8335039

Gutachter:

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber
Professor Dr. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Leoben, 31. März 2008

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

DANKSAGUNG

2005 haben mich Prof. Thomé-Kozmiensky und Prof. Lorber auf einem Abfallwirtschaftskongress in Berlin überzeugt, dass es an der Zeit ist, meine fachliche Tätigkeit in der Abfallwirtschaft mit einer Dissertation abzurunden. Ich danke Ihnen für diesen Auftrag und Ihre Überzeugungskraft.

Ich danke Herrn Hans Roth dafür, dass er mir 16 Jahre lang ermöglicht hat, abfallwirtschaftliche Ideen zu entwickeln, technische Visionen umzusetzen und Projekte zu finanzieren. Sein Vertrauen und seine unternehmerischen Visionen waren und sind mir eine wesentliche Motivation und die Basis für den persönlichen und beruflichen Erfolg bei Saubermacher.

Ich danke den Unternehmen Holcim und ecorec, insbesondere Direktor DI Urs Fankhauser, Jochen Aigner und Mag. Christian Abl, für die erfolgreiche gemeinsame Umsetzung des Projektes HOTDISC. Ebenso wichtig war die Mitarbeit und Unterstützung meiner Mitarbeiter bei Saubermacher, insbesondere DI Alex Curtis, DI Herwig Pfeiffer, Mag. Gerald Schmidt und Thomas Lechner. Für Unterstützung bei der grafischen Gestaltung und viele konstruktiv kritische Diskussionen danke ich Mag. Klampfl-Pernold.

Abschließend danke ich meiner Frau Reinhild, die es drei Jahre lang ertragen hat, dass ich mich auch in der Freizeit und in den Urlauben mit Abfallwirtschaft und meiner Dissertation beschäftigt habe. Ohne ihr Verständnis und ihre Unterstützung hätte diese Arbeit nicht abgeschlossen werden können.

Kurzfassung

Entwicklung von Ersatzbrennstoff für das HOTDISC-Verfahren und Analyse der abfallwirtschaftlichen Relevanz

Das HOTDISC-Verfahren ermöglicht den Einsatz von EBS mit gröberer Körnung in Zement-drehrohröfen. Durch mechanische Behandlung von Siedlungsabfällen (Gewerbeabfall) kann ein geeigneter mittelkalorischer EBS hergestellt werden, der bisher in Wirbelschichtanlagen eingesetzt wurde. Durch Verfahrensänderungen kann dieser EBS qualitativ verbessert und großtechnisch in Zementwerken mit integrierter HOTDISC-Technologie energetisch genutzt und verwertet werden.

Eine Stoffflussanalyse simuliert Massen- und Qualitätsänderungen durch geplante Verfahrensänderungen in der Abfallaufbereitung auf theoretischer Basis. Dabei ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Massen- und Qualitätsprognose mit den realen Daten aus der Stoffflussanalyse nach Anlagenrealisierung. Am Beispiel der Splittinganlage der SDAG in Wien wird gezeigt, dass die Planungssicherheit erhöht und das ökonomische Risiko mit Hilfe dieser Vorgehensweise deutlich reduziert werden kann. Stoffflussanalyse und praktische Betriebserfahrungen bestätigen, dass der großtechnisch produzierte HOTDISC-EBS einsetzbar ist und aus gemischten Siedlungsabfällen hergestellt werden kann.

Aus abfallwirtschaftlicher Sicht ist die Produktion und energetische Nutzung des HOTDISC-EBS jedenfalls sinnvoll. Die Energie- und CO₂-Bilanz sowie die ökonomische Analyse von Mengenströmen, Zusatzumsätzen und Kostenvorteilen zeigt dies eindrucksvoll. Eine steigende internationale Bedeutung des HOTDISC-Verfahrens und der verstärkte Einsatz von mittelkalorischen EBS sind zu erwarten.

Abstract

Development of substitute fuel for the HOTDISC technology and analysis of its relevance regarding waste management

The HOTDISC technology allows the application of coarse sized substitute fuel in the cement rotary kiln. Through mechanical conditioning of municipal solid waste (including commercial and industrial waste), it is possible to produce an appropriate mid-caloric substitute fuel which has so far been applied in fluidised bed incinerators. This substitute fuel can be qualitatively improved through changes in the conditioning process, to utilize it through energetic recovery in cement kilns with integrated HOTDISC technology.

A substance flow analysis simulates changes in mass and quality of resulting fuel, because of the projected process changes in waste conditioning on a theoretic basis. In doing so there is a good match between the forecast of mass and quality, with the real data attained by the substance flow analysis carried out after realisation of changes in plant operation. According to the example given for SDAG's spitting-plant, it can be shown that through this procedure planning reliability is increased, while economic risk is reduced considerably at the same time. Both substance flow analysis and operational experience confirm the applicability of the large-scale produced HOTDISC-substitute-fuel, which can be produced from mixed municipal solid waste.

From the point of waste management, production and energetic utilization of the HOTDISC-substitute-fuel is more than just reasonable. This is easily demonstrated by the energy and CO₂-balance, as well as by the economic analysis of mass flows, additional revenues and cost advantages. Rising international importance of the HOTDISC technology and its increased application in combination with middle-caloric substitute fuel is to be expected.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG.....	5
1.1 Problemstellung	6
1.2 Zielsetzung.....	6
1.3 Definitionen und Begriffe.....	8
2 ENERGETISCHE VERWERTUNG VON ABFÄLLEN	11
2.1 EBS-Verwerter	11
2.1.1 Zementwerke.....	11
2.1.2 Wirbelschichtanlagen.....	14
2.1.3 Kraftwerke	15
2.2 Situation in Österreich.....	15
2.3 HOTDISC-Verfahren in der Zementindustrie.....	18
2.3.1 Verfahrensbeschreibung.....	18
2.3.2 Umsetzung durch Produzenten und Verwerter	21
3 GRUNDLAGEN DER EBS-PRODUKTION.....	24
3.1 Zielsetzung und Systematik der EBS-Produktion.....	24
3.1.1 Systematik des Rohstoffes Siedlungsabfall.....	24
3.1.2 Systematik von EBS-Produktionsanlagen.....	26
3.2 Produktion von Ersatzbrennstoffen	29
3.2.1 EBS für die Zementindustrie	30
3.2.2 EBS für Wirbelschichtanlagen.....	35
3.2.3 EBS für Kraftwerke	36
3.3 Wirtschaftliche Bedeutung von EBS.....	36
3.3.1 Bedeutung von EBS für die Entsorgungswirtschaft.....	37
3.3.2 Bedeutung von EBS für die Zementindustrie	39
4 EBS-PRODUKTION IN DER SPLITTINGANLAGE WIEN.....	41
4.1 System der thermischen Verwertung von Abfällen.....	41
4.2 Modulares Produktionsmodell für EBS-Produktions- und Splittinganlagen ...	43

4.3	Verfahrensbeschreibung zur Splittinganlage.....	45
4.4	Inputstoffe der Splittinganlage.....	47
5	QUALITÄTS- UND MASSENSTROMSIMULATION DES HOTSDISC-ERSATZBRENNSTOFFES	50
5.1	Grundlagen zur Analyse von Stoffströmen.....	50
5.2	Beschreibung der Methode	51
5.3	Beschreibung des Ausgangsmaterials	52
5.3.1	Sortieranalyse.....	52
5.3.1.1	Ablauf der Probennahme	52
5.3.1.2	Sortierablauf	53
5.3.1.3	Ergebnisse	55
5.3.2	Chemische Zusammensetzung.....	57
5.4	Qualitäts- und Massenstromsimulation	58
5.4.1	Inputdefinition	58
5.4.2	Ergebnisse der Qualitäts- und Massenstromprognose.....	61
5.5	Anlagenkonfigurierung und Qualitätssicherung.....	65
5.5.1	Prozesstechnische Änderungen	65
5.5.2	Verfahrenstechnische Umsetzung	66
5.5.3	Bautechnische Änderungen.....	68
5.5.4	Logistische Umsetzung.....	70
5.5.5	Qualitätssicherungssystem	72
6	WISSENSCHAFTLICHE BETRACHTUNG DER VERFAHRENSÄNDER-UNGEN MITTELS STOFFFLUSSANALYSE.....	74
6.1	Produktionsanlage vor Änderung (Stoffströme KW 13).....	75
6.1.1	Güterstrombilanz	75
6.1.2	Stoffstrombilanz für Aluminium	76
6.1.3	Stoffstrombilanz für Eisen	77
6.1.4	Stoffstrombilanz für Blei	77
6.1.5	Stoffstrombilanz für Kupfer	78
6.1.6	Stoffstrombilanz für Cadmium.....	79
6.1.7	Stoffstrombilanz für Quecksilber	79
6.1.8	Stoffstrombilanz für Chlor	80
6.1.9	Stoffstrombilanz für Störstoffe.....	81

6.1.10	Bilanz für Heizwert.....	82
6.2	Produktionsanlage nach Änderung (Stoffströme KW 19).....	83
6.2.1	Veränderte Güterstrombilanz.....	83
6.2.2	Veränderte Stoffstrombilanz für Aluminium.....	83
6.2.3	Veränderte Stoffstrombilanz für Eisen.....	84
6.2.4	Veränderte Stoffstrombilanz für Blei.....	85
6.2.5	Veränderte Stoffstrombilanz für Kupfer.....	85
6.2.6	Veränderte Stoffstrombilanz für Cadmium.....	86
6.2.7	Veränderte Stoffstrombilanz für Quecksilber.....	87
6.2.8	Veränderte Stoffstrombilanz für Chlor.....	88
6.2.9	Veränderte Stoffstrombilanz für Störstoffe.....	88
6.2.10	Veränderte Bilanz für Heizwert.....	89
6.3	Transferkoeffizienten.....	90
6.4	Interpretation der HOTDISC-EBS-Qualität.....	93
6.4.1	Sankey-Diagramme: Güter.....	94
6.4.2	Sankey-Diagramme: Cadmium.....	94
6.4.3	Sankey-Diagramme: Eisen.....	95
6.4.4	Sankey-Diagramme: Quecksilber.....	96
6.4.5	Sankey-Diagramme: Blei.....	97
6.4.6	Sankey-Diagramme: Störstoffe.....	98
6.4.7	Sankey-Diagramme: Chlor.....	99
6.4.8	Sankey-Diagramme: Heizwert.....	100
6.5	Vergleich der Prognosewerte mit den Analysewerten.....	101
6.5.1	Vergleich der stofflichen Zusammensetzung.....	101
6.5.2	Vergleich der Massenströme.....	104
7	BETRIEBSERFAHRUNGEN UND PROBLEMFELDER.....	106
7.1	Lagerverhalten und brandschutztechnische Problematik.....	106
7.2	Förder- und Einbringfähigkeit.....	110
7.3	Anlagenumbau parallel zur bestehenden Produktion.....	113
7.4	Logistische Probleme.....	113
7.5	Interessenskonflikt zwischen Produzent und Verwerter.....	115
8	ABFALLWIRTSCHAFTLICHE RELEVANZ DES HOTDISC-EBS.....	117

8.1	Energiebilanz	118
8.2	CO ₂ -Bilanz	120
8.3	Biogener Anteil.....	121
8.3.1	Angewandte Methoden	123
8.3.2	Auswertung der Ergebnisse	123
8.4	Auswirkung auf die Abfallströme	126
8.4.1	Anlagenspezifische Bedeutung.....	127
8.4.2	Regionale und nationale Bedeutung	128
8.4.3	Bedeutung von HOTDISC-EBS für ein österreichisches Entsorgungsunternehmen.....	129
8.5	Wirtschaftliche Analyse und Vergleich mit alternativen Entsorgungs- lösungen.....	131
8.5.1	Kosten	131
8.5.2	Kostenvergleich mit alternativen Behandlungsverfahren.....	134
8.5.3	Wirtschaftliche Relevanz von HOTDISC-EBS für ein österreichisches Entsorgungsunternehmen.....	135
9	ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	137
10	AUSBLICK UND WEITERER FORSCHUNGSBEDARF	141
11	VERZEICHNISSE.....	142
11.1	Literatur	142
11.2	Abkürzungsverzeichnis	149
11.3	Tabellen	152
11.4	Abbildungen	153

1 Einleitung

Die Abfallverbrennung kann heute als notwendige aber vor allem auch sinnvolle Behandlungsart im Zusammenhang mit der Erreichung der Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft bezeichnet werden. Hierbei lässt sich die Beseitigung von Abfällen in der klassischen MVA (Müllverbrennungsanlage), die vorrangig der Mengenreduktion und Inertisierung dient, von der thermischen Verwertung, die auf die Nutzung der in den Abfällen gespeicherten Energie abzielt, unterscheiden.

Um die Möglichkeit der thermischen Verwertung nutzen zu können ist die Produktion von EBS (Ersatzbrennstoff) essentiell. Diese und der Einsatz in der Zementindustrie sind mittlerweile Stand der Technik. Allerdings besteht beim Einsatz von EBS in Zementdrehrohröfen folgende grundsätzliche Problematik: Einerseits muss der EBS hohe Heizwerte aufweisen, da der Klinkerbrennprozess ein Hochtemperaturverfahren darstellt und hohe Flammentemperaturen voraussetzt. Andererseits muss der EBS eine geringe Korngröße (hohe Feinheit) aufweisen, da er über Brenner in den Verbrennungsraum eingeblasen wird und dort im Flug verbrennen soll. Die üblichen EBS für den Zementdrehrohröfen sind daher hochkalorisch und feinkörnig. Hohe Heizwerte bedeuten, dass nur besondere und daher weniger leicht verfügbare Abfälle als EBS genutzt werden können. Geringe Korngröße bedeutet hohen technischen Aufwand und Kosten bei der Herstellung dieses EBS. Durch eine besondere Konstruktion des Calcinators kann eine Verbesserung dieser Situation erreicht werden, der Einsatz von EBS mit höherer Korngröße und geringerem Heizwert bleibt aber begrenzt.

Bei der Produktion von EBS aus gemischten Siedlungsabfällen kommunaler und gewerblicher Herkunft fallen vor allem mittelkalorische Ersatzbrennstoffe mit gröberer Körnung an. Sie werden vorwiegend in Wirbelschichtverbrennungsanlagen energetisch verwertet (zu den Begriffen „energetische“ und „thermische“ Verwertung vgl. Kapitel 2).

EBS-Qualitäten, die für die energetische Verwertung in Wirbelschichtanlagen produziert wurden, waren daher bislang nicht in der Zementindustrie einsetzbar. Sie sind für Zementdrehrohröfen (in der Primärfeuerung) ungeeignet [1, S. 313], und EBS-Qualitäten mit beispielsweise bis 100 mm Korngröße und Heizwerten zw. 10 – 15 MJ/kg sind auch am Calcinator nicht einsetzbar.

Allerdings ist der Einsatz von mittelkalorischen EBS mit gröberer Körnung in der Sekundärfeuerung von Zementdrehrohröfen möglich. Das HOTDISC-Verfahren ist eine Neuentwicklung, die großtechnisch erstmals im Zementwerk Rohoznik (Slowakei) der Holcim Ltd.¹⁾ umgesetzt wurde. Im Zuge des Neubaus der Drehrohröfenanlage wurde nach dem neuen HOTDISC-Verfahren eine Vorbrennkammer errichtet, in die EBS über ein Klappensystem eingebracht werden. Der Ausbrand erfolgt auf einem feuerfest ausgemauerten Drehteller.

¹⁾ Die Holcim Ltd. ist ein weltweit tätiger Baustoffkonzern. Das Kerngeschäft ist Zement, Kies und Beton. Der Konzern ist in über 70 Ländern tätig und beschäftigt rund 61.000 Mitarbeiter. [2]

Die Brennkammer wird dabei von einem Teilstrom an Ofenabgasen durchströmt. Das Brennkammerabgas dient der Vorwärmung und der Vorcalcinierung.

1.1 Problemstellung

Beim Bau der HOTDISC im Zementwerk Rohoznik war noch nicht klar, welche Art von EBS am besten für dieses Verfahren geeignet ist. Es bestand allerdings die Vermutung und das Ziel, in dieser HOTDISC-Anlage mittelkalorischen EBS mit grober Körnung als Regelbrennstoff einzusetzen. Die Herausforderung bestand darin, zu klären, welche EBS-Qualität für die HOTDISC geeignet bzw. sinnvoll ist und inwiefern es möglich ist, mittelkalorischen EBS mit grober Körnung im großtechnischen Maßstab im Drehrohrofen einzusetzen. Dieser sollte idealerweise aus dem bisherigen Inputmaterial der Splittinganlage, nämlich gemischten Siedlungsabfällen, d.h. einem gut verfügbaren Abfallstrom, hergestellt werden.

Die Saubermacher Dienstleistungs AG (SDAG) betreibt in Wien eine Splittinganlage, die EBS für Wirbelschichtanlagen und hochkalorische Leichtfraktion für nachfolgende EBS-Produktionsanlagen (ThermoTeam) produziert. Holcim und SDAG starteten eine Kooperation, um einen geeigneten EBS für das HOTDISC-Verfahren zu entwickeln. Die Splittinganlage Wien sollte dermaßen geändert werden, dass dieser neue EBS in Wien produziert und nach Rohoznik geliefert wird. Das Interesse der SDAG ist es, eine zusätzliche Verwertungslösung für mittelkalorischen EBS und somit eine Alternative zu Wirbelschichtverbrennungsanlagen aufzubauen.

Die zu lösende Problemstellung, die teilweise erst durch die anlagentechnische Umsetzung und die großtechnische Erprobung beantwortet werden konnte, bezieht sich zunächst auf die verfahrenstechnischen Änderungen der Abfallvorbehandlungsanlage und wie diese gestaltet werden müssen. Hierbei stellt sich die Frage, inwieweit Qualitäts- und Massenstromprognosen, also Simulationsverfahren, eingesetzt werden können und ob diese hilfreich sind. Des Weiteren wird untersucht, wie sich die Massenströme und Qualitäten in der EBS-Produktionsanlage durch die verfahrenstechnisch notwendigen Modifikationen verändern und ob die SFA (Stoffflussanalyse) ein geeignetes Mittel zu deren Beurteilung ist. Aufbauend auf diesen Ausführungen werden Betriebserfahrungen beschrieben und die Frage beantwortet, ob bzw. warum es sinnvoll war das zugrunde liegende Projekt umzusetzen. Es geht hierbei zentral um die abfallwirtschaftliche Bedeutung und Auswirkungen, die Beurteilung des HOTDISC-EBS in Bezug auf Energie und CO₂ aber letztendlich auch um die Frage, ob das entwickelte Abfallbehandlungs- und Verwertungssystem wirtschaftlich und damit im Vergleich zu alternativen Abfallbehandlungsverfahren wettbewerbsfähig ist.

1.2 Zielsetzung

Aus der oben formulierten Problemstellung lassen sich die folgenden drei zentralen Ziele formulieren. Diese werden in der vorliegenden Arbeit genauer untersucht und beantwortet.

1. Kann die Stoffflussanalyse auf theoretischer Basis durchgeführt werden und dabei als geeignetes Instrument zur Prognose von Massenströmen und EBS-Qualitäten dienen?

Die konventionelle SFA untersucht Stoff-, Material- oder Güterflüsse bestehender Systeme auf Basis von Probenahme und stofflicher Analyse. Bei der Planung von Anlagen oder Anlagenänderung besteht ein hoher Unsicherheitsgrad in Bezug auf die Auswirkungen von verfahrenstechnischen Schritten auf Massenströme und vor allem auf die stoffliche Zusammensetzung der Produkte. Da die konventionelle SFA eine Methode ist, die den Ist-Zustand eines Systems untersucht und darstellt, ist sie daher als Methode zur Erhöhung der Planungssicherheit zunächst nicht geeignet.

Jedoch ist es möglich, die Methode der SFA mit Sortieranalysen und verfahrenstechnischen Modellen zu kombinieren, um ein Modell für eine geplante Anlage zu erhalten und damit Stoff- und Massenströme einer zukünftigen Anlage zu prognostizieren (Simulation).

Es ist zu untersuchen, ob die SFA im Rahmen einer Anlagensimulation geeignet ist, die Planungssicherheit von mechanischen Abfallbehandlungsanlagen und insbesondere von EBS-Produktionsanlagen zu verbessern. Dies wird anhand einer konkreten Anlage untersucht und die Ergebnisse der Simulation werden den Ergebnissen der SFA gegenübergestellt.

2. Kann durch die konventionelle Stoffflussanalyse nachgewiesen werden, dass der aus gemischten Siedlungsabfällen hergestellte EBS die Anforderungen des HOTDISC-Verfahrens erfüllt?

Die konventionelle SFA ist eine etablierte Methode zur Beschreibung und Analyse von Stoff-, Material- und Güterflüssen in Abfallbehandlungsanlagen. Sie sollte daher auch ein geeignetes Mittel sein, die Änderung des EBS nach einer Änderung des Produktionsverfahrens darzustellen. Die Eignung des neuen EBS und die Eignung für das neue HOTDISC-Verbrennungsverfahren könnten somit mit der SFA untersucht werden.

Vor allem die Frage, ob aus gemischtem Siedlungsabfällen gewerblicher Herkunft (Gewerbeabfall) ein für das HOTDISC-Verfahren geeigneter EBS hergestellt werden kann, ist für die Praxis entscheidend, da diese Abfallart einen gut verfügbaren Rohstoff darstellt.

3. Ist die Produktion und energetische Verwertung des HOTDISC-EBS aus abfallwirtschaftlicher Sicht sinnvoll und ökonomisch betrachtet konkurrenzfähig?

Die Beurteilung, ob die Produktion und energetische Verwertung des HOTDISC-EBS aus abfallwirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist, hat u.a. ökonomische, logistische, energetische und klimarelevante Aspekte.

Einerseits ist die Frage zu prüfen, ob das Verfahren aus Sicht der Abfallwirtschaft ökonomisch darstellbar ist, insbesondere im Vergleich mit alternativen Behandlungsverfahren. Andererseits sind die Auswirkungen des neuen Verfahrens auf die Massenströme zu untersuchen. Für eine weitergehende ökologische Bewertung sind die energetischen und klimarelevanten Eigenschaften des EBS bedeutsam.

1.3 Definitionen und Begriffe

Die wesentlichen Definitionen und Begriffe werden nachfolgend dargelegt.

Abfall

Abfälle sind nach § 2 Abs. 1 AWG 2002 „bewegliche Sachen, denen sich der Besitzer entledigen will oder entledigt hat oder deren Sammlung, Lagerung, Beförderung und Behandlung als Abfall erforderlich ist, um die öffentlichen Interessen nicht zu beeinträchtigen.“ [3, § 2 Abs. 1]

Abfall aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen

„Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen‘ setzen sich aus den Fraktionen Restmüll, Sperrmüll, Altstoffe (Papier, Glas, Metall, Kunststoff, Textilien u.a.), biogene Abfälle und Problemstoffe zusammen und entsprechen im Wesentlichen dem Begriff ‚Siedlungsabfälle‘ gem. § 2 Abs. 4 Z 2 AWG 2002. Diese stammen aus Haushalten, aus Verwaltungseinrichtungen des Gewerbes, der Industrie und der öffentlichen Verwaltung, aus Kindergärten, aus Schulen, aus Krankenhäusern, aus dem Kleingewerbe, aus der Landwirtschaft, von Märkten und von sonstigen Anfallstellen, sofern diese an die kommunale Müllabfuhr angeschlossen sind.“ [4, S. 22]

Behandlung als Überbegriff für Verwertung contra Beseitigung

„Das AWG 2002 definiert Behandlungsanlagen und fasst unter dem Begriff der Behandlung [...] Verwertungs- und Beseitigungsverfahren zusammen. Die Abgrenzung zwischen Verwertung und Beseitigung, somit die Frage nach Definition dieser Begriffe wird einer Gesamtabwägung überantwortet, für welche als Kriterien die ökologische Zweckmäßigkeit, Schonung der Ressourcen, Eignung der Abfallart, Gefahrenminimierung, ökonomische Zweckmäßigkeit und die Art der Behandlungsanlage genannt werden. Damit ist wieder das Problem der Definition und ihrer Abhängigkeit vom Umfeld in dem sie geformt werden, angesprochen.“ [5, S. 192] [3, § 2 Abs. 5]

Energetische Verwertung

In der Literatur wird der Begriff der „Energetischen Verwertung“ häufig ganz allgemein auf einzelne Entsorgungsprozesse, wie z.B. die Mitverbrennung von EBS in Zementwerken, bezogen. Nach Thiel ist aber die energetische Sicht von Bedeutung. Hierbei ist „der Wirkungsgrad des jeweiligen konkreten Gesamtkonzepts unter Einbeziehung der zusätzlichen Aufbereitungs- und Transportprozesse ausschlaggebend.“ [6, S. 3] Wie Thiel darstellt ist der Begriff „energetische Verwertung“ zutreffender als „thermische Verwertung“. Letzterer ist in Österreich allerdings gebräuchlicher und wird in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet.

Ersatzbrennstoff

„Ersatzbrennstoff ist der Oberbegriff für aus Abfällen gewonnene Brennstoffe, die in eigens dafür errichteten Anlagen verbrannt oder in für andere Brennstoffe ausgelegten Anlagen mitverbrannt werden. Der Begriff sagt nichts über die Herkunft oder die Qualität aus.“ [7, S. 53]

Gewerbeabfall

Gemischte betriebliche Abfälle, die gemäß ÖNORM S 2100 (siehe unten) unter der SN 91101 („Siedlungsabfälle und ähnliche Gewerbeabfälle“) geführt werden. „Gewerbeabfall“ ist ein weit verbreiteter Begriff, der eine Herkunftsbezeichnung für „gemischte Siedlungsabfälle“ aus Gewerbe- und Industriebetrieben darstellt.

Gut

„Material, das aus einem oder mehreren Stoffen besteht und handelbar ist. Der Handelswert von Gütern kann je nach Betrachter sowohl positiv (zB Heizöl, Mineralwasser) als auch negativ (zB Restmüll, Abwasser) sein. In besonderen Fällen gibt es Güter, die keinen monetären Wert aufweisen, d.h. sie verhalten sich wertmäßig neutral. Beispiele dafür sind Luft, Kfz-Abgase oder Niederschlag.“ [8, S. 3]

Material

„Übergeordneter Begriff für ein Gut oder einen Stoff. Der Begriff Material wird dann verwendet, wenn Güter und Stoffe betrachtet werden, oder wenn man sich noch nicht festlegen will, auf welcher Ebene (Güter oder Stoffe) eine Untersuchung durchgeführt werden soll. Material schließt Rohmaterialien sowie alle durch biologische, physikalische oder chemische Prozesse veränderten Substanzen ein.“ [8, S. 3]

Mitverbrennung

„Werden Abfälle nicht in Abfallverbrennungsanlagen sondern in industriellen Feuerungsanlagen verbrannt, so spricht man von Mitverbrennung.“ [9, S. 15]

„Eine Mitverbrennungsanlage ist jede ortsfeste oder nicht ortsfeste Anlage, deren Hauptzweck in der Energieerzeugung oder der Produktion stofflicher Erzeugnisse besteht und in der Abfall als Regel- oder Zusatzbrennstoff verwendet wird oder in der Abfall im Hinblick auf die Beseitigung thermisch behandelt wird.“ [10, § 3 Abs. 5]

ÖNORM S 2100

In dieser ÖNORM sind die Schlüssel-Nummern für Abfälle festgelegt und Hinweise für eine mögliche Behandlung gegeben. [11, S. 71]

Prognose

„Konventionelle Prognosen konzentrieren sich auf die Analyse des Ist-Zustandes und projizieren mit Hilfe von mathematischen Methoden und Modellen die Ausprägungswerte von Zielgrößen.“ [12, S. 147]

Rückstand

„Rückstände sind unvermeidliche Begleitumstände der Produktion.“ [13, S. 754]

Siedlungsabfall

„Siedlungsabfälle‘ sind Abfälle aus privaten Haushalten und andere Abfälle, die auf Grund ihrer Beschaffenheit oder Zusammensetzung den Abfällen aus privaten Haushalten ähnlich sind; bei der Zuordnung ist das Europäische Abfallverzeichnis im Sinne des Art. 1 der Richtlinie 75/442/EWG über Abfälle, ABl. Nr. L 194 vom 25.7.1975 S 39, geändert durch die Richtlinie 91/156/EWG, ABl. Nr. L 78 vom 26.3.1991 S 32, und die Entscheidung 96/350/EG, ABl. Nr. L 135 vom 6. 6. 1996 S 32, zu berücksichtigen.“ [3, § 2 Abs. 4 Z 2]

Stoffliche Verwertung

„Stoffliche Verwertung‘ [ist] die ökologisch zweckmäßige Behandlung von Abfällen zur Nutzung der stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials mit dem Hauptzweck, die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe unmittelbar für die Substitution von Rohstoffen oder von aus Primärrohstoffen erzeugten Produkten zu verwenden, ausgenommen die Abfälle oder die aus ihnen gewonnenen Stoffe werden einer thermischen Verwertung zugeführt.“ [3, § 2 Abs. 5 Z 2]

Stoff

„Material, das aus identischen Einzelteilen besteht und entweder ein chemisches Element (Einzelteil Atom, zB Natrium, Kohlenstoff oder Kupfer) oder eine chemische Verbindung in reiner Form (Einzelteil Molekül, zB NH₃, CO₂, Kupfersulfat) ist. Keine Stoffe sind zB Trinkwasser, da es nicht nur aus reinem Wasser besteht, sondern auch Kalzium und viele Spurenelemente, oder PVC, da es neben polymerisiertem Vinylchlorid auch Additive enthält.“ [8, S. 3]

Stoffflussanalyse

„Identifizierung und Quantifizierung aller relevanten Flüsse von Stoffen in einem zeitlich und räumlich exakt abgegrenzten System sowie Bilanzierung der Stoffe innerhalb dieses Systems. Das untersuchte System kann ein Einzelprozess oder eine Verknüpfung vieler Prozesse einschließlich der Unterprozesse sein. Die Stoffflussanalyse kann auch als eine Input-Output-Analyse – im international Sprachgebrauch auch PIOT (physical input output tables) genannt – betrachtet werden. Die Input-Output-Analyse beschreibt die produktionsmäßigen Beziehungen zwischen den Teilbereichen der Wirtschaft und die Untersuchungen der wechselseitigen Zusammenhänge zwischen Inputs und Outputs.“ [8, S. 5]

Transferkoeffizient

„Anteil des gesamten in den Prozess eingeführten Gutes oder Stoffes, der in den Output x transferiert wird. Die Summe der Transferkoeffizienten aller Outputs eines Materials muss immer 1 ergeben und wird über die Transferfunktion beschrieben. Dabei sind allfällige Transfers ins Lager (Lageraufbau) bei der Summenbildung als ‚Outputs‘ bzw. aus dem Lager (Lagerabbau) heraus als ‚Inputs‘ zu berücksichtigen. Je nach Fragestellung kann in Einzelfällen für die Berechnung der Transferkoeffizienten nur ein Teilinput betrachtet werden. Der Transferkoeffizient ist dimensionslos.“ [8, S. 5]

2 Energetische Verwertung von Abfällen

Die internationale Entwicklung zeigt, dass die energetische Verwertung von Abfällen in industriellen Anlagen bereits ein allgemeiner Trend ist [1, S. 456]. Während die Beseitigung von Abfällen in klassischen Müllverbrennungsanlagen vorrangig dem Ziel der Massen- und Volumenreduktion und Inertisierung dient, zielt die thermische Verwertung auf die Nutzung der gespeicherten Energie in Abfällen ab. Die Anforderungen der industriellen Verwertungsanlagen an die zu verwertenden Abfälle sind unterschiedlich und erreichen bei der Zementindustrie besonders hohen Anspruch [14, S. 205] [7, S. 54]. Aufgrund des vorrangigen Zieles ein Produkt (= Zement) herzustellen, besteht die Forderung nach sehr hochwertigen und schadstoffarmen Ersatzbrennstoffen.

In diesem Zusammenhang ist die Unterscheidung zwischen EBS und heizwertreicher Fraktion, wie sie z.B. aus dem Siebüberlauf aus mechanischen-biologischen Anlagen entstehen, relevant. Wie bereits beschrieben (vgl. Kapitel 1.3) ist ersterer direkt als Brennstoff in industriellen Verbrennungsanlagen einsetzbar, während Siebüberläufe ohne weitere Aufbereitungsschritte, wie Zerkleinerung und Schadstoffentfrachtung, nicht direkt als Brennstoff einsetzbar und daher auch nicht als EBS klassifizierbar sind.

2.1 EBS-Verwerter

Von zentraler Bedeutung für den Einsatz von EBS sind die Qualitätsanforderungen der Verwerter. Danach sind die verschiedenen Ersatzbrennstoffe zu konfektionieren. Grundsätzlich kommen die folgenden wesentlichen Verwerter für EBS in Frage [15, S. 4 f]:

- Zementwerke: Einsatz von EBS in Zementdrehrohranlagen.
- Industrielle Kraftwerke bzw. industrielle thermische Verwertungsanlagen: Sie dienen der Energieversorgung von Industrieanlagen. In Deutschland wird auch der Begriff „EBS-Kraftwerk“ verstärkt verwendet. Dieser ist in Österreich aber nicht üblich. Besondere Bedeutung haben in Österreich Wirbelschichtanlagen.
- Kraftwerke

2.1.1 Zementwerke

Grundsätzlich kann in Zementwerken die Einbringung von EBS in die Primärfeuerung und/oder in die Sekundärfeuerung erfolgen. Abbildung 1 zeigt die Positionierung der Einbringungsmöglichkeiten im Drehrohrföfen. Als Rohstoffersatz können Rückstände industrieller Produktion durch Rohmehlbeimischung dem Brennprozess zugeführt werden. Sie können aber auch, unter Umgehung des Brennprozesses, als Zuschlagstoffe für Klinker dem Zement zugefügt werden.

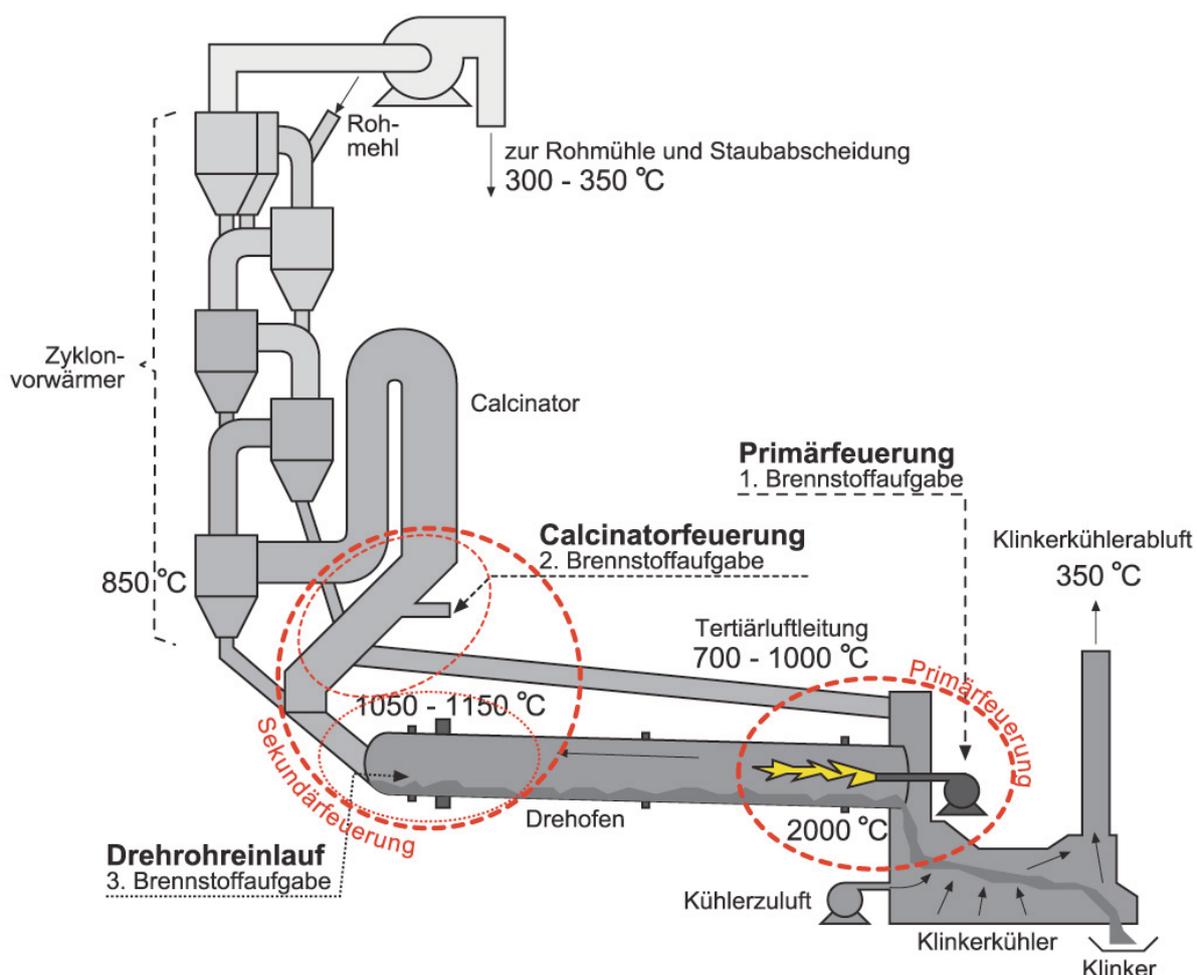


Abbildung 1: Primär- und Sekundärfeuerung im Klinkerherstellungsprozess

Quelle: [16, leicht modifiziert]

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Mauschitz und Hackl [17, S. 311 – 318]:

1. Verwertung von EBS in Primärfeuerung¹⁾

Bei der direkten thermischen Verwertung wird der EBS in flüssiger oder feingemahlener Form durch Lanzen dem Hauptfeuer (d.h. der Primärfeuerung) am Brennerende aufgegeben. Die Verbrennung erfolgt bei Temperaturen von etwa 1.800 – 2.000 °C. Beim Einbringen des EBS in die Primärfeuerung ist auf eine möglichst homogene Zusammensetzung und Dosierbarkeit des EBS zu achten. Damit wird eine möglichst konstante Ofenführung erreicht, Betriebsstörungen vorgebeugt und eine gleichbleibend hohe Klinkerqualität sichergestellt. Bei nicht sachgemäßer Verfeuerung besteht die Gefahr, dass durch vermehrte Anbackungen Probleme während des Ofenbetriebes auftreten können. Dies führt bis hin zu Ofenstillständen.

¹ Mauschitz und Hackl sprechen von Haupt- und Zweitfeuerung, wofür in dieser Arbeit die Begriffe Primär- und Sekundärfeuerung verwendet werden.

Schwer dosierbarer EBS kann Förderprobleme hervorrufen, die zu einem erhöhten Falschlufteintrag in das Ofensystem führen können. In Verbindung mit steigenden Abgasverlusten kann sich die Energieeffizienz der Anlage verringern. Für den Hochtemperaturprozess des Klinkerbrandes sind vor allem höherkalorische EBS von besonderem Wert. Der Einsatz von niederkalorischen EBS mit biogenem Kohlenstoffanteil ist aus Klimaschutzrechtlichen Gründen verständlich, birgt aber die Gefahr der Verschlechterung der Energieeffizienz in sich. Vor allem durch die Forderung, die Bedingungen während des Klinkerbrandes exakt einhalten zu können, um die Produktqualität nicht zu beeinträchtigen, ist die Palette an möglichen EBS in der Zementindustrie eingeschränkt.

2. Verwertung von EBS in der Sekundärfeuerung

EBS kann, soweit es seine Zusammensetzung erlaubt, auch über die Sekundärfeuerung verbrannt werden. Dies geschieht einerseits durch die Aufgabe über den Drehrohreinlauf und andererseits über die Aufgabe von EBS im Bereich des Calcinator. Dazu ist es nicht zwingend erforderlich, dass der Brennstoff feinvermahlen sein muss, er kann auch in grobstückiger Form verfeuert werden. Altreifen können etwa ganzstückig über spezielle Schleusensysteme dem Drehofen zugeführt werden. Die Altreifen sind hierbei nicht nur Wärmelieferant, sondern auch Träger des für die Klinkermineralbildung wichtigen Elementes Eisen. Problemen, die sich u.a. in den nachgeschalteten Elektroentstäubern durch die Aufgabe von ganzen Reifen ergeben können (z.B. CO-Emissionsspitzen), wird durch die Aufgabe von Reifenmaterial in zerkleinerter Form vorgebeugt.

Zwischen Zyklonvorwärmer und Drehofen ist zur Vorcalciniierung der Calcinator angeordnet. Dieser stellt einen erweiterten Brennraum dar, mit dessen Hilfe in Zusammenhang mit der Sekundärfeuerung das bereits vorgewärmte Rohmehl zum größten Teil decarbonatisiert wird und im nachgeschalteten Drehrohrföfen nur mehr die Klinkermineralbildung stattfindet. Im Vergleich zur Primärfeuerung sind die Brenntemperaturen sowie die Abgasverweilzeiten in der Sekundärfeuerung und im Calcinator geringer. So betragen die Verbrennungstemperaturen im Calcinator zwischen 900 – 1.200 °C und die Verweilzeiten liegen zwischen 1 – 5 Sekunden (vgl. Abbildung 1).

3. Verwertung von EBS durch Generierung von Synthesegas

Abfälle mit sehr inhomogener Zusammensetzung können in einem der Zementherzeugung vorgeschalteten pyrolytischen Prozess in Synthesegas umgewandelt werden. Das Synthesegas kann direkt oder nach entsprechender Gasreinigung als Brennstoff eingesetzt werden. Die dabei entstehende Asche wird hauptsächlich staubförmig im gasgetragenen Zustand in das Zementdrehrohr eingebracht und dort in den Klinker eingebunden. Zurzeit wird in keinem österreichischen Zementwerk Synthesegas zur Befuerung von pyrogenen Anlagenteilen verwendet.

2.1.2 Wirbelschichtanlagen

Momentan wird der mengenmäßig größte Anteil der heizwertreichen Fraktionen aus der MBA in Wirbelschichtanlagen thermisch behandelt. Hierbei ist seit dem Jahr 2003 eine starke Zunahme von rund 50 % auf ca. 76 % im Jahr 2005 festzustellen [18, S. 180 f]. Dieser Zuwachs ist vor allem auf die mit 1.1.2004 strengeren Ablagerungskriterien der Deponieverordnung [19, § 5] zurückzuführen, weshalb auch hier verstärkt hochkalorische Fraktionen ausgeschleust und einer thermischen Behandlung zugeführt werden [18, S. 182 f].

Beim Wirbelschichtverfahren wird das zuvor zerkleinerte Brenngut aufgewirbelt, fluidisiert und im Schwebезustand verbrannt. Die verschiedenen Verfahren im Bereich der Wirbelschichtverbrennung unterscheiden sich vor allem im Ausmaß der Aufwirbelung [20, S. 380 f]. Grundsätzlich kann man zwischen stationärer Wirbelschicht und zirkulierender Wirbelschicht unterscheiden. Während bei der stationären Wirbelschicht der Brennstoff in einem aufgewirbelten und lediglich begrenzt expandierten Sandbett in Schwebе gehalten wird und größtenteils im Wirbelbett ausbrennt, kommt man durch stärkere Expandierung des Betts und somit größere Aufwirbelung des Brennstoffes, von der stationären Wirbelschicht über die Circofluid-Stufe mit teilweiser Rückführung der ausgetragenen Partikeln, letztendlich zur zirkulierenden Wirbelschicht. Je nachdem, welche Anforderungen das jeweilige Verfahren stellt, muss der EBS entsprechend vorbehandelt und zerkleinert werden [20, S. 383]. Während die stationäre Wirbelschicht vor allem für Klärschlämme und Papierschlamm eingesetzt wird, ist die zirkulierende Wirbelschicht für heizwertreichere Brennstoffe und hohe Durchsätze geeignet. [20, S. 402]

Die Vorteile von Wirbelschichtfeuerungsanlagen sind unter anderem:

- die Flexibilität hinsichtlich Heizwert und sich ändernden Brennstoffqualitäten,
- ein hoher Wärmeaustausch und damit guter Ausbrand,
- eine einfache Abscheidung von Schwefel und Halogeniden durch Kalksteinzugabe zum Wirbelbett,
- niedrige NO_x -Werte durch vergleichsweise niedrige Verbrennungstemperaturen, sowie
- ein niedriger Luftüberschuss [21, S. 34].

Nachteilig wirkt sich die schon zuvor erwähnte Notwendigkeit eines möglichst homogenen Brennstoffs hinsichtlich der Stückigkeit aus, was wiederum nach einer aufwändigen Brennstoffaufbereitung verlangt [21, S. 34].

In Österreich sind mehrere Wirbelschichtverbrennungsanlagen für die Verwertung von mittelkalorischem EBS in Betrieb. Der eingesetzte Brennstoff stammt aus den Siebüberläufen der mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen sowie aus den Fraktionen aus Split-

tinganlagen und produktionsspezifischen Abfällen mit einem Heizwert zwischen 11 – 16 MJ/kg. Zu den großen Anlagen in Österreich gehören jene der AVE Reststoffverwertung Lenzing (RVL) in Oberösterreich, der TRV Niklasdorf in der Steiermark sowie der Wirbelschichtofen 4 der Fernwärme Wien [7, S. 167]. Die Erkenntnisse der RVL Lenzing fließen bereits auch in andere Großprojekte mit ein. Sie ist mit rund 50.000 Betriebsstunden die am längsten in Betrieb befindliche Wirbelschichtanlage zur thermischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen [22, S. 326].

2.1.3 Kraftwerke

Kalorische Kraftwerke, die mit stückiger Braun- oder Steinkohle befeuerte Kessel aufweisen, lassen für den Einsatz von EBS gute Voraussetzungen erwarten. Kohlekessel mit Staubfeuerung bieten hingegen problematische Voraussetzungen für den Einsatz von EBS. Der Feuerungsraum und die Zuführung von Brennstoffen sind auf feinkörnig aufbereitete Kohle abgestimmt. Die Herstellung von vergleichbar feinen EBS ist technisch und ökonomisch schwierig und aufwendig.

Braunkohle befeuerte Kessel bieten meist bessere Voraussetzungen, sofern die Kohle nicht fein aufgemahlen wird. Kraftwerke mit Wirbelschichtkesseln bieten allgemein gute Voraussetzungen für den EBS Einsatz.

Besonders hohe Anforderungen der Kraftwerke bestehen hinsichtlich Verfügbarkeit ihrer Anlagen. Die Begrenzung von Risiken und die Optimierung von Wirkungsgraden werden von den Betreibern als vorrangig betrachtet. Der Einsatz von EBS wird daher meist nur vorsichtig verfolgt. Die optimistischen Mengenerwartungen für den EBS-Einsatz in Kraftwerken wurden bisher enttäuscht.

2.2 Situation in Österreich

Seit 1.1.2004 ist die Deponierung von Abfällen, deren TOC größer als 5 M-% ist, in Österreich nicht mehr zulässig [19, § 5 Abs. 7]. Dies hat einen massiven Umbruch in der österreichischen Abfallwirtschaft bewirkt. Die Deponie als Hauptsenke wurde durch die thermische Beseitigung und thermische Verwertung abgelöst [23, S. 443].

Der weitgehende Ersatz der Deponie durch thermische Behandlungsanlagen kann als Quantensprung in der Entsorgungswirtschaft in Hinblick auf den technischen Standard der Anlagen, der Energienutzung und der Nachhaltigkeit angesehen werden. Energieeffizienz durch Nutzung des im Abfall gespeicherten Energieinhaltes und die Reduktion von Treibhausgasen sind nachgewiesene ökologische Beiträge der Abfallwirtschaft [24, S. 129 ff].

Die Investitionen der privaten Entsorgungswirtschaft haben wesentlich dazu beigetragen, dass in Österreich die Umsetzung der Deponieverordnung ohne große Probleme erreicht werden konnte. Der hohe technische Standard der neu errichteten Anlagen z.B. Müllverbrennungsanlagen, industrielle Mitverbrennungsanlagen, mechanisch-biologische Anla-

gen, Splittinganlagen und EBS-Produktionsanlagen, hat sich seither bewährt. Die folgende Abbildung 2 zeigt die wesentlichen abfallwirtschaftlich relevanten Anlagen in Österreich.

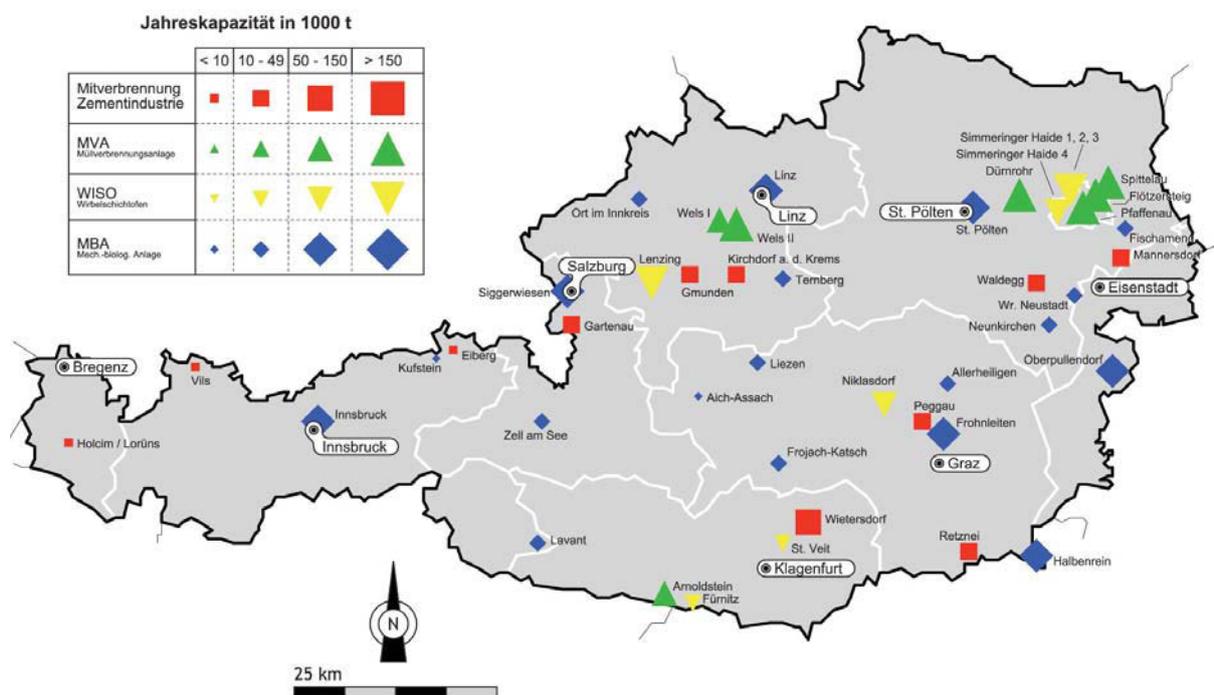


Abbildung 2: Thermische und mechanisch-biologische Behandlungsanlagen in Österreich

Quelle: [25, S. 42 (leicht modifiziert)]

Besonders hervorzuheben ist, dass in Österreich mehrere Projekte, insbesondere für mittelkalorische Abfälle, umgesetzt wurden. Mittelkalorische Abfälle (besonders Siebüberläufe aus mechanisch-biologischen Anlagen oder spezielle Fraktionen aus Splittinganlagen) mit Heizwerten zwischen 11 – 16 MJ/kg stellen bei mechanischer Vorbehandlung den Hauptstrom des Outputs dieser Anlagen dar. Die große Wirbelschichtenanlage der AVE Reststoffverwertung Lenzing (RVL) in Oberösterreich [26, S. 148 ff], die Wirbelschichtenanlage TRV Niklasdorf in der Steiermark [26, S. 105 ff], sowie eine Wirbelschichtenanlage (WSO4) der Stadt Wien [26, S. 129 ff] decken diesen Bereich ab.

Die acht österreichischen Zementwerke wurden in ihrem Beitrag zur Bewältigung der Anforderungen der Deponieverordnung allerdings etwas überschätzt [27, S. 454]. Die Zementwerke sind teilweise auf bestimmte Abfälle spezialisiert (z.B. flüssige oder gefährliche Abfälle) oder in ihrer tatsächlichen, technischen Kapazität beschränkt (Chlor-Limitierung), sodass für EBS aus Siedlungsabfall oder Gewerbeabfall tatsächlich nur ca. 130.000 – 150.000 t/a zur Verfügung stehen. Entschärft wurde die Situation im kommunalen Bereich durch die Inanspruchnahme der Ausnahmeregelung einzelner Bundesländer. Weiters wurden vor Kurzem mehrere Großprojekte zur thermischen Abfallbehandlung zeitgerecht oder zumindest zeitnahe fertig gestellt; darunter zwei Müllverbrennungsanlagen und zwei Wirbelschichtenanlagen.

Wie die nachstehende Abbildung 3 zeigt, lassen sich in Österreich grundsätzlich zwei parallel umgesetzte Strategien erkennen. Des Weiteren wurde in wenigen Fällen die ausnahms-

weise Fristverlängerung in Anspruch genommen, wobei sich hier Tendenzen zur jeweilig angestrebten Strategie zeigen.

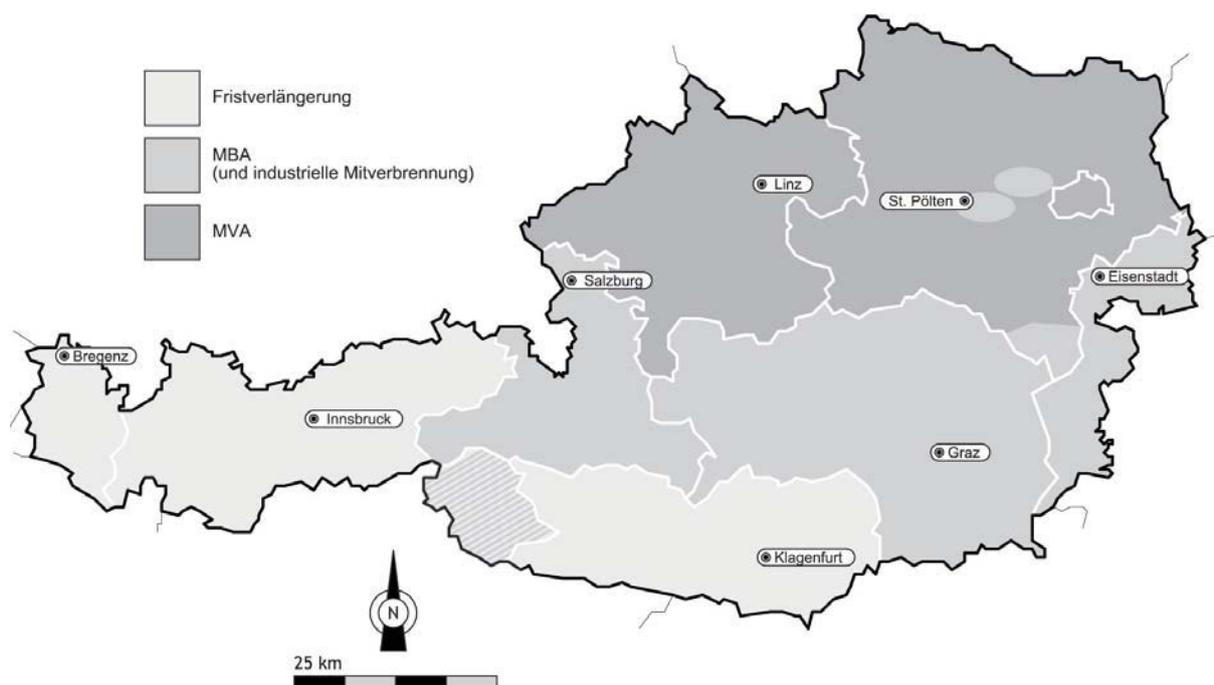


Abbildung 3: Schwerpunktmäßige Behandlungsarten in den österreichischen Bundesländern
Quelle: [28, S. 96 (leicht modifiziert)]

Österreichweit ergeben sich somit drei verschiedene Anlagenszenarien, und zwar:

1. Müllverbrennungsanlagen (MVA)

Müllverbrennungsanlagen sind Anlagen mit hoher Kapazität. Beispiele hierfür sind insbesondere die bestehenden Verbrennungsanlagen der Stadt Wien (Fernwärme Wien), die 2003 in Betrieb gegangene Müllverbrennungsanlage in Dürnrohr/NÖ, sowie die 2. Ausbaustufe der Welser Abfallverbrennung in Oberösterreich [26, S. 64 ff]. Es ist das klare Konzept, unbehandelten Hausmüll aber auch Gewerbeabfälle thermisch zu behandeln, wobei der Energienutzungsgrad im Vergleich zur industriellen Mitverbrennungsanlage beschränkt ist.

2. Kombination von mechanischen Vorbehandlungsanlagen und Anlagen zur industriellen Mitverbrennung

Im kommunalen Bereich sind dies mechanisch-biologische Anlagen (MBA). Derartige Anlagen werden in verschiedenen Regionen bereits seit vielen Jahren betrieben und wurden im Zuge der neuen Anforderungen technisch adaptiert (Salzburger Abfallbeseitigung SAB, Umweltdienst Burgenland UDB, Abfallwirtschaftsverband Liezen, Wr. Neustadt, Zell/S., etc.). Zusätzlich entstanden neue Anlagen, wie z.B. in Frohnleiten, St. Pölten, Halbenrain. Im gewerblichen Bereich (Gewerbeabfall) entstanden mehrere gewerbliche Abfall-

Splittanlagen, die teilweise direkt Ersatzbrennstoffe für Wirbelschichtanlagen herstellen oder heizwertreiche Fraktion für nachfolgende EBS-Produktionsanlagen produzieren.

Zusätzlich wurden mehrere Ersatzbrennstoffproduktionsanlagen errichtet, die Ersatzbrennstoffe für die Zementindustrie produzieren (ThermoTeam, W&P, .A.S.A., Nemetz).

3. Entwicklung noch offen aufgrund von Fristverlängerung

Das Deponierungsverbot für nicht vorbehandelte Abfälle trat am 1.1.2004 in Kraft. Die Bundesländer Wien, Tirol, Vorarlberg und Kärnten nützten die gesetzlich vorgesehene Möglichkeit einer Fristverlängerung, sodass das Deponierungsverbot in diesen Bundesländern erst mit 1.1.2009 in Kraft tritt [19]. Es ist aber schon jetzt eine Tendenz erkennbar, wie die betroffenen Bundesländer die Deponieverordnung ab 2009 umsetzen werden.

In Wien ist bereits die dritte Müllverbrennungsanlage in Bau, sodass ab 2009 alle Wiener Siedlungsabfälle thermisch behandelt werden können [29]. In Kärnten soll die bestehende MVA in Arnoldstein optimiert und die industrielle Mitverbrennung ausgebaut werden [30]. In Vorarlberg wird das Konzept der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung umgesetzt, die dazu erforderliche thermische Behandlung soll in Anlagen der Schweiz und Deutschlands erfolgen. Die Situation in Tirol ist unübersichtlich. Eine 2008 abgeschlossene Ausschreibung ergab eine Vergabe der Tiroler Siedlungsabfallmengen an einen deutschen Entsorger. Die Abfälle sollen als Zwischenlösung in deutschen MVA's thermisch behandelt werden. Langfristig soll aber in Tirol das Konzept der mechanisch-biologischen Behandlung umgesetzt werden. Langjährige politische Auseinandersetzungen verhindern bisher aber die Genehmigung und Umsetzung von Behandlungsanlagen.

2.3 HOTDISC-Verfahren in der Zementindustrie

Das HOTDISC-Verfahren ermöglicht, wie bereits einleitend beschrieben, den Einsatz von mittelkalorischen EBS mit gröberer Körnung in der Sekundärfeuerung von Zementdrehrohrofen. Auf die Verfahrensbeschreibung und die Umsetzung durch Produzenten bzw. Verwerter wird im Folgenden näher eingegangen.

2.3.1 Verfahrensbeschreibung

In Abbildung 4 ist die verfahrenstechnische Anordnung der HOTDISC im Bereich des Calciners des Zementdrehrohrofens dargestellt.

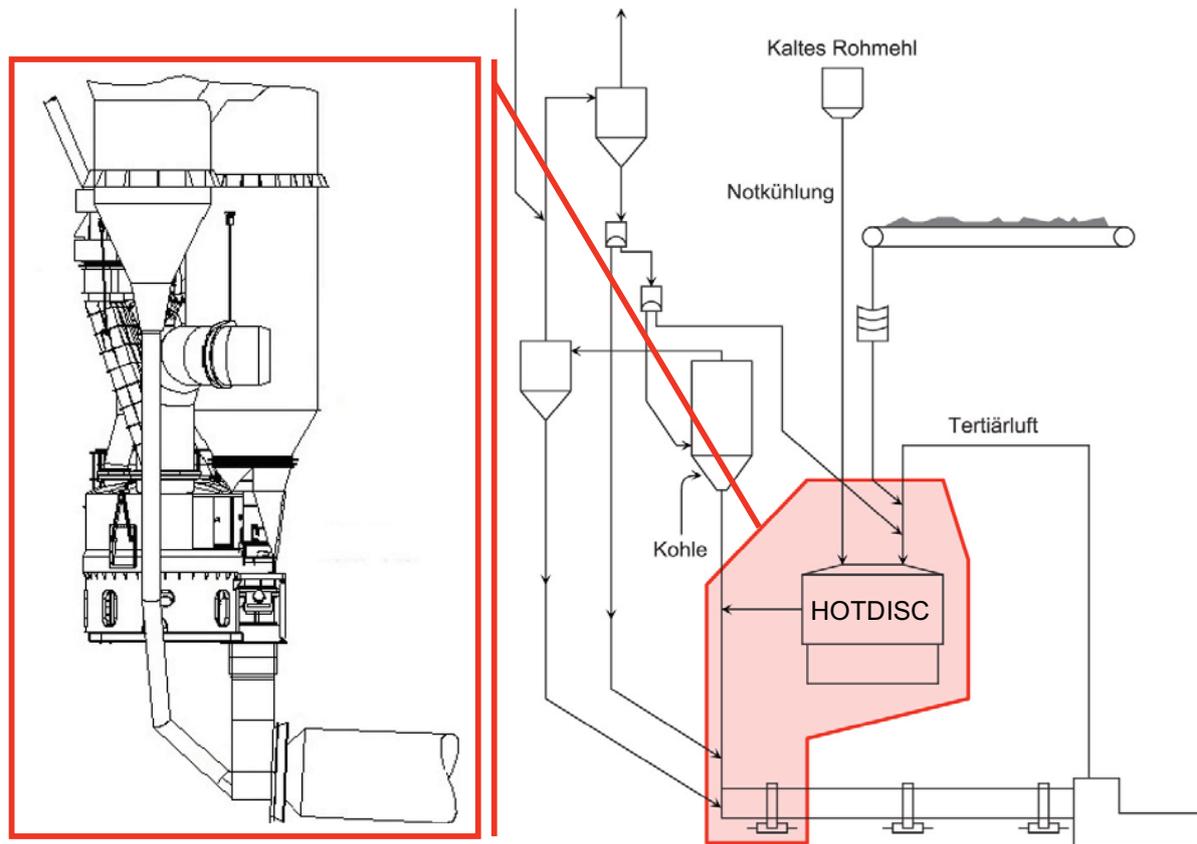


Abbildung 4: Verfahrenskreislauf mit Eingliederung der HOTDISC

Der HOTDISC-Reaktor selbst (vgl. Abbildung 5) besteht aus:

- einer mit Feuerfestmaterial ausgemauerten zylindrischen Brennkammer. Der Boden der Brennkammer ist eine horizontale, rotierende Scheibe (Durchmesser ca. 6 m, feuerfest ausgemauert)
- einer Mauer, an der Abstreifersegmente montiert sind. Diese Mauer teilt die Brennkammer zwischen Brennstoffzufuhr und Ascheaustrag.
- Einem Schleifring, der die rotierend Scheibe trägt. Er wird von 2 frequenzgesteuerten Motoren angetrieben. Die Geschwindigkeit der Scheibe, die als Träger für den Ersatzbrennstoff dient, kann zwischen 1 und 4 Umdrehungen pro Stunde variiert werden, wodurch die Verweilzeit eingestellt werden kann.

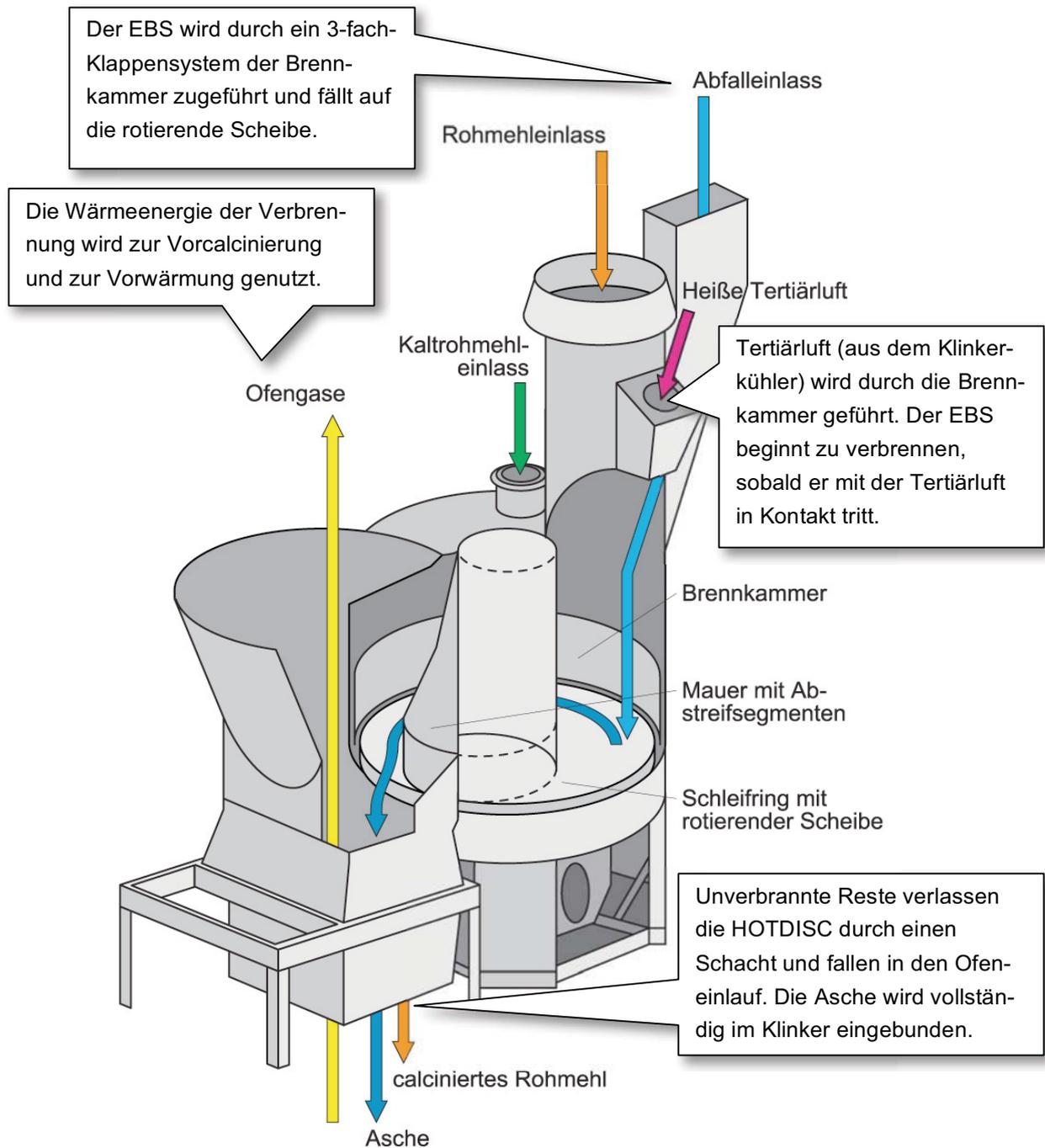


Abbildung 5: Funktionsprinzip der HOTDISC

Die Verbrennungstemperatur in der HOTDISC beträgt 1.000 – 1.200 °C, die Verbrennungsabgase dienen als Wärmeinput für den Calcinator. Luft für die Verbrennung kommt vom Klinkerkühler (ca. 750 °C). Die Verbrennung im HOTDISC-Reaktor erfolgt unter voll oxidierenden Bedingungen. Die Verbrennungsbedingungen im Calcinator (ca. 950 °C, 3 sec. Verweilzeit, turbulente und oxidierende Bedingungen) und in den folgenden Zyklonen sichern, dass unverbrannte organische Teile und CO₂ weitgehend vermieden werden.

Die Temperatur des HOTDISC-Reaktors wird durch die kontinuierliche Zufuhr von kühlerem teilweise calciniertem Rohmehl geregelt. Dieses Material absorbiert Wärme, die bei der Verbrennung in der HOTDISC entsteht. Nach ca. 270 Grad der Umdrehung fallen die verbleibende Asche und teilweise calciniertes Rohmehl in den Ofeneinlauf. Die EBS-Zufuhr wird konstant gehalten. Die Temperatur des Zyklons vor dem Calcinator wird kontrolliert und durch Steuerung der Brennstoffzufuhr des Calcinatorbrenners gesteuert. Um den Verbrennungsprozess zu stoppen, werden im Anlassfall ca. 15 t kaltes Rohmehl zugeführt.

2.3.2 Umsetzung durch Produzenten und Verwerter

Das Zementwerk Rohoznik liegt ca. 30 km nördlich von Bratislava (Slowakei) und wurde 1991 von Holderbank erworben. 2001 wurde der Holderbank Konzern in Holcim umbenannt [31]. Der Holcim Konzern ist, mit derzeit ca. 160 Zementwerken, weltweit größter Produzent von Zement [32, S. 13].

2003 bis 2004 erfolgten die Modernisierung des Werkes und der Neubau der Drehrohrofenanlage PC2. Die Drehrohrofenanlage besteht aus den folgenden Hauptkomponenten:

- Vorhomogenisierungslager (2 Chevron Lager je 22.000 t),
- Rohmühle (300 t/h) und Gewebefilter,
- 5-Stufen-Wärmetauscher mit Inline-Calcinator,
- FLS – „Cross Bar“ Kühler und Gewebefilter, sowie
- HOTDISC integriert in den Calcinator.

Die HOTDISC ist eine Entwicklung der Firma FL Smidth¹⁾, einem internationalen Anlagenbauunternehmen mit Spezialisierung auf Anlagen für die Zementindustrie. Erstmals wurde eine HOTDISC 2002 im Zementwerk Kjøpsvik, Norwegen der Norcem A/S, einer Tochterfirma der Heidelberger Cement Group, in Betrieb genommen. Die eingesetzten Brennstoffe waren zerkleinerte Altreifen und zerkleinertes Holz. Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen aus Siedlungsabfällen fand in dieser ersten Anlage nicht statt. Die HOTDISC im Zementwerk Rohoznik ist die weltweit zweite Installation in einem Zementwerk. Die Inbetriebnahme erfolgte im März 2005. In den ersten Monaten erfolgte die Verbrennung von Altreifen. Seit Juni 2005 wurden auch andere Ersatzbrennstoffe (u.a. Kunststoffe) getestet. Im April 2005 sowie Februar 2006 erfolgten Modifizierungen und Verbesserungen der HOTDISC. Regelbetrieb mit Ersatzbrennstoff besteht seit März 2006. Im April 2007 wurde ein Chlor-Bypass in Betrieb genommen, der die Chlortoleranz des Ofensystems stark verbessert. Damit kann die Ersatz-

¹ Die Webseite des Unternehmens ist unter <http://www.flsmidth.com/> abrufbar.

brennstoffmenge weiter gesteigert werden. Im Mai 2007 wurde die Anlieferstation erweitert um die Anlieferlogistik zu optimieren.

Die EBS-Aktivitäten (Beschaffung von Rohstoffen, Betrieb von EBS-Produktionsanlagen, Marktentwicklung, Versorgung der Zementwerke) hat Holcim in nationale Tochterunternehmen, mit dem Firmennamen „ecorec“¹⁾, ausgegliedert. Vertragspartner von SDAG sind ecorec Austria, ecorec Slovensko und Holcim. Aufgrund der Kompetenz von SDAG bei der Produktion von Ersatzbrennstoffen, sowohl für Zementwerke als auch für Wirbelschichtanlagen, und der Verfügbarkeit österreichischer Abfälle, erfolgten ab 2003 Kooperationsgespräche. 2004 wurde ein Letter of Intent (LOI) unterzeichnet, in dem die Zusammenarbeit und die gemeinsame Entwicklung eines Ersatzbrennstoffes für die HOTDISC vereinbart wurde. 2003 – 2005 erfolgten Vorarbeiten der SDAG im Rahmen eines umfassenden Forschungsprojektes.²⁾ Die Unterzeichnung eines langjährigen Liefervertrages zwischen SDAG, Holcim und ecorec erfolgte im Dezember 2005. Aufgrund dieses Liefervertrages wurde für die bestehende mechanische Abfallvorbehandlungsanlage (Splittinganlage) der SDAG in Wien ein Umbau projektiert, der im April 2006 abgeschlossen wurde. SDAG versorgt die HOTDISC des Zementwerkes Rohoznik seither exklusiv mit Ersatzbrennstoff aus Österreich. Die erforderlichen Notifizierungen, für die grenzüberschreitende Verbringung von Abfällen, wurden von den zuständigen Ministerien erstmals 2005 erteilt.

Kerngeschäft der SDAG ist die Beschaffung des Rohstoffes (Abfallsammlung), die mechanische Vorbehandlung in der Splittinganlage, die Produktion des HOTDISC-EBS, die Logistik bis zur Übernahmestation im Zementwerk Rohoznik, die Abwicklung der Notifizierungen sowie die Qualitätssicherung des Brennstoffes.

¹ ecorec ist in den Ländern Österreich, Tschechien, Slowakei, Ungarn, Rumänien, Bulgarien, Serbien und Kroatien tätig und bietet als internationale Unternehmensgruppe Lösungen für die Abfallwirtschaft in Osteuropa. In Österreich ist das Unternehmen unter dem Namen ecorec Abfallmanagement GmbH tätig. [33]

² FFF-Projekt „Entwicklung neuer Brennstoffe“. Forschungsförderungsfond der gewerblichen Wirtschaft in enger Kooperation mit der Montanuniversität Leoben, Projekt-Nr. 808147, Leoben 2006.

Kerngeschäft der Holcim ist die Produktion und der Verkauf von Zement. Hauptaufgaben in der Kooperation mit der SDAG sind die technische Ausgestaltung der Anlagen und die thermische Verwertung des angelieferten HOTDISC-EBS.

3 Grundlagen der EBS-Produktion

Nachfolgend wird, aufbauend auf einer systematischen Darstellung der EBS-Produktion in Bezug auf den Rohstoff Siedlungsabfall einerseits und den EBS-Produktionsanlagen andererseits, die Produktion von EBS für die relevanten Verwerter in Österreich (vgl. Kapitel 2.1) beschrieben, sowie deren wirtschaftliche Bedeutung aus Sicht der Entsorgungswirtschaft aber auch aus jener der Zementindustrie diskutiert.

3.1 Zielsetzung und Systematik der EBS-Produktion

Aufgrund der mittlerweile vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Ersatzbrennstoffen wird im folgenden Kapitel die Zielsetzung und vor allem die Systematik, also die Klassifikation, der EBS-Produktion dargestellt.

3.1.1 Systematik des Rohstoffes Siedlungsabfall

Die Abfallart „Siedlungsabfall und ähnliche Gewerbeabfälle“ wurde bereits zu Beginn der vorliegenden Arbeit definiert (vgl. Kapitel 1.3). Die seit 2002 gültige Definition des AWG nutzt den Begriff der „Ähnlichkeit“, d.h. auch Gewerbeabfälle sind Siedlungsabfall, unabhängig von der Menge [3, § 2 Abs. 4 Z 2]. Nicht Siedlungsabfall sind sortenreine Abfälle (z.B. Produktionsabfälle), sofern sie einer eigenen Abfallschlüsselnummer (ASN) oder EAK-Code zugeordnet werden können [34] [35]. In dieser Arbeit wird der Begriff „Siedlungsabfall“ sowohl für Siedlungsabfälle aus kommunaler Sammlung (Hausmüll, Restmüll) als auch aus gewerblicher Sammlung (Gewerbeabfälle) verwendet.

Kommunale Siedlungsabfälle und Siedlungsabfälle aus Gewerbebetrieben zeigen unterschiedliches Aufbereitungsverhalten. Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA) verarbeitet kommunale Siedlungsabfälle, Splittinganlagen behandeln hingegen Gewerbeabfälle.¹⁾ Heizwertreiche Fraktionen entstehen in diesen Anlagen als Zwischenprodukte und dienen in spezialisierten EBS-Produktionsanlagen als Rohstoff. Je nach Abfallart und Behandlungsverfahren entstehen unterschiedliche EBS-Qualitäten, die in verschiedenen thermischen Verwertungsanlagen (industrieller Mitverbrennung) energetisch genutzt werden können [36, S. 58] [7, S. 52].

In Abhängigkeit vom Anlagentyp und den konkreten Verfahrensschritten (Aufbereitungstiefe) können aus Siedlungsabfällen unterschiedliche brennbare Fraktionen hergestellt werden. Nur jene Fraktionen, die direkt ohne weitere Aufbereitungsschritte in thermischen Verwertungsanlagen eingesetzt werden können, werden als EBS bezeichnet. Die folgende Abbildung zeigt die prinzipielle Abgrenzung zwischen heizwertreicher Fraktion und EBS (vgl.

¹ In Österreich besteht eine weitgehende Trennung zwischen MBA und Splittinganlage.

Abbildung 6). Die Grenze ergibt sich daraus, dass für den EBS keine weiteren Aufbereitungsschritte vor der Verwertung erforderlich sind.

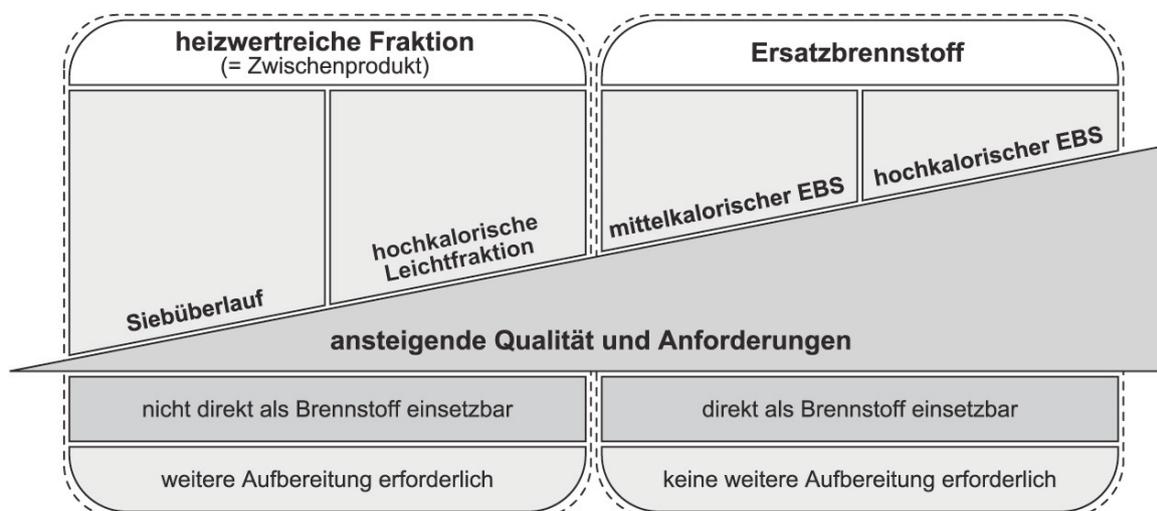


Abbildung 6: Abgrenzung heizwertreiche Fraktion und EBS

Die folgenden aus Siedlungsabfällen hergestellte EBS-Arten haben sich in Österreich etabliert [7, S. 53 ff]:

1. Hochkalorische EBS für die Zementindustrie

Einerseits ofenfertiger, blasfähiger EBS mit geringer Korngröße (< 30 mm) für die Primärfeuerung (> 20 MJ/kg). Dieser zeichnet sich durch möglichst hohe Heizwerte, geringe Störstoffanteile und angestrebte geringe Chlorgehalte aus.

Andererseits etwas gröbere EBS mit mittlerem bis hohem Heizwert für den Einsatz in der Sekundärfeuerung (Calcinator) (ca. 15 – 20 MJ/kg).

2. Mittelkalorische EBS für Wirbelschichtverbrennungsanlagen

Angestrebt werden hier mittlere Heizwerte (ca. 10 – 15 MJ/kg) und begrenzte Störstoffanteile (insbesondere in Bezug auf Metalle, mineralische Anteile). Die Korngröße differiert je nach Anlage, es werden üblicherweise maximale Korngrößen zwischen 60 und 100 mm akzeptiert.

3. EBS für spezielle Verbrennungsanlagen

Beispielhaft sind hier die EBS-Pellets für den Hochofen (> 25 MJ/kg)¹⁾ sowie der EBS für das HOTDISC-Verfahren (> 14 MJ/kg) zu nennen. Weiters können auch die

¹⁾ EBS in Pelletsform, die für den Hochofen der voestalpine Stahl GmbH produziert werden. Dieser wird u.a. in einer Anlage der AVE in Wels hergestellt.

Kleinmengen in Ziegelwerken, Kalkwerken und der keramischen Industrie angeführt werden.

3.1.2 Systematik von EBS-Produktionsanlagen

Die Verfahrenskonzepte in Bezug auf die mechanisch(-biologische) Abfallbehandlung können je nach Zielsetzung hinsichtlich der zur Anwendung gelangenden mechanischen, biologischen und thermischen Verfahrensbausteine unterschiedlich kombiniert werden. Thiel unterscheidet die Stoffstromtrennung, die mechanisch-biologische Stabilisierung mit biologischer Trocknung, die mechanisch-physikalische Stabilisierung mit thermischer Trocknung sowie die mechanisch(-biologische) Vorbehandlung vor der thermischen Behandlung [6, S. 9]. EBS-Produktionsanlagen sind jedenfalls in den Bereich der Stoffstromtrennung einzugliedern und können eine Abstraktionsebene tiefer nach der Art des hergestellten EBS, ihrem Anlagenzweck und ihrer Komplexität klassifiziert werden.

Für die vorliegende Arbeit wird die folgende Einteilung der Anlagen vorgenommen:

1. MBA ohne Nachaufbereitung des Siebüberlaufs

Die mechanisch-biologische Anlage ohne Nachaufbereitung des Siebüberlaufs (vgl. Abbildung 7) ist keine EBS-Produktionsanlage, sofern sie lediglich durch Vorzerkleinerung und Absiebung eine in Korngröße und Störstoffgehalt undefinierte und nicht direkt als Brennstoff einsetzbare Fraktion herstellt. Der Siebüberlauf stellt somit nur ein Zwischenprodukt bzw. einen Rohstoff für die nachfolgende EBS-Produktion dar. Der Anteil des Siebüberlaufes beträgt üblicherweise 35 – 45 % des Inputs.

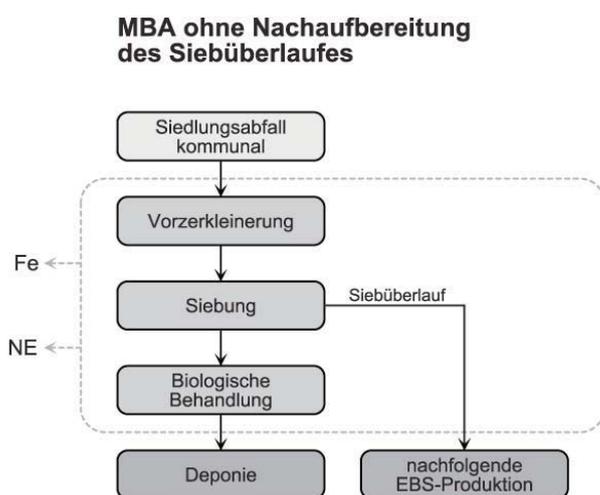


Abbildung 7: Grundsystem der MBA ohne Nachaufbereitung des Siebüberlaufes

2. MBA mit Nachaufbereitung des Siebüberlaufes

In einer mechanisch-biologischen Anlage mit Nachaufbereitung des Siebüberlaufes (vgl. Abbildung 8) wird dieser vor Ort weiter aufbereitet. Durch zusätzliche Verfah-

rensschritte (Nachzerkleinerung, Windsichtung, umfassende Metallabscheidung (Fe, NE)) entsteht mittelkalorischer EBS für Wirbelschichtanlagen und ggf. eine durch Windsichtung hergestellte hochkalorische Leichtfraktion, die als Rohstoff für die EBS-Produktion für die Zementindustrie eingesetzt wird. Der Anteil des EBS beträgt hier üblicherweise 30 – 45 % des Siebüberlaufes.

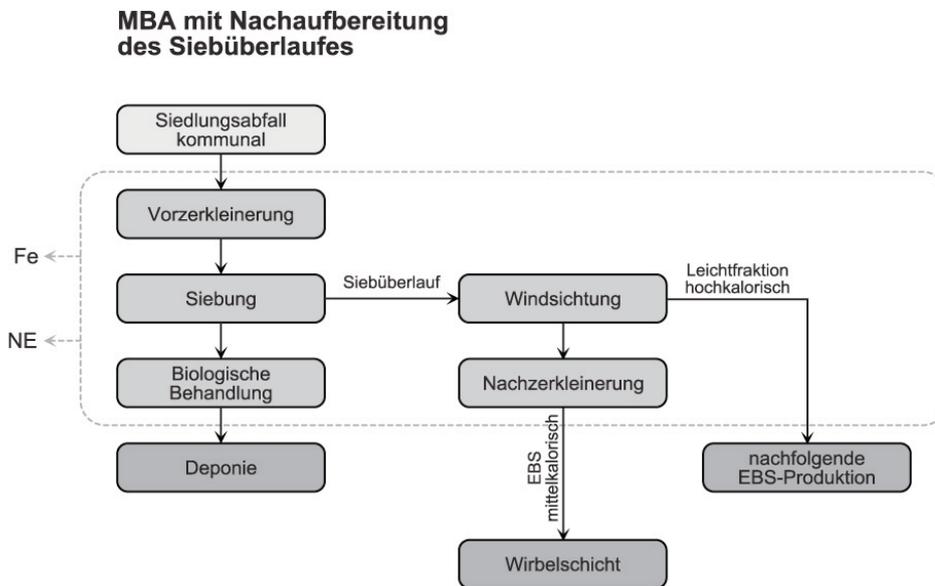


Abbildung 8: Grundsystem der MBA mit Nachaufbereitung des Siebüberlaufes

3. Splittinganlagen für Gewerbeabfälle

Diese Anlagen produzieren aus Gewerbeabfall mittelkalorischen EBS für Wirbelschichtanlagen und ggf. hochkalorische Leichtfraktion als Rohstoff für die Zementindustrie. Einige Anlagen arbeiten mit Nachzerkleinerung, andere mit Kreislaufführung ohne Nachzerkleinerungsaggregate (vgl. Abbildung 9). Der Anteil des EBS beträgt üblicherweise 60 – 90 % des Inputs.

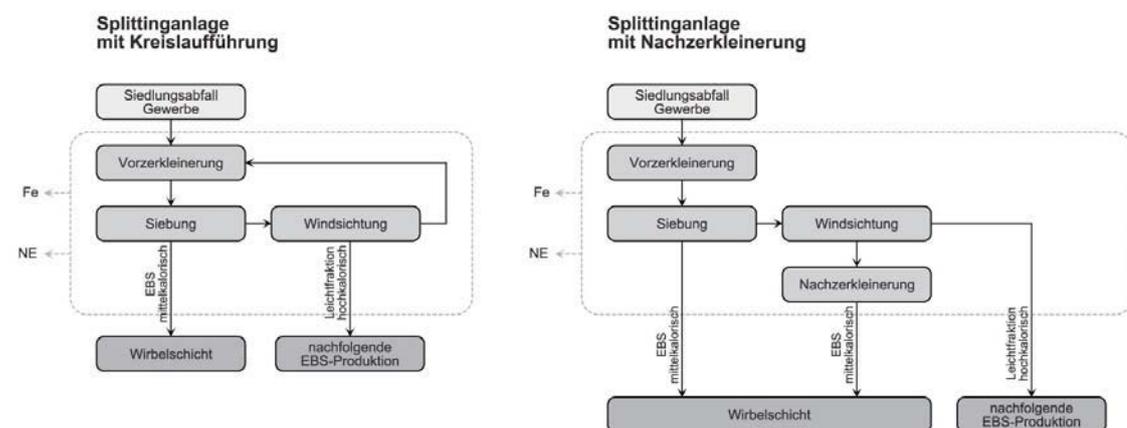


Abbildung 9: Grundsystem der Splittinganlagen

4. EBS-Produktionsanlagen

Diese Anlagen haben den Zweck, inhomogene Rohstoffe (Produktionsabfälle, heizwertreiche Fraktionen) zu „konditionieren“, d.h. durch Vermischung, Zerkleinerung und Störstoffabtrennung definierte Ersatzbrennstoffe hinsichtlich Körnung, Heizwert und Schadstoffgehalt herzustellen [1, S. 65]. Aufgabe der Anlage ist somit die Schadstoff- und Störstoffentfrachtung sowie die Sicherstellung der Homogenität. Das Ausbringen an EBS beträgt bis zu 95 % des Inputs.

Es können zwei Anlagentypen unterschieden werden (vgl. Abbildung 10):

- einfache Anlagen für sortenreine Produktionsabfälle, sog. einlinige Verfahren
- komplexe Anlagen für gemischte Abfälle mit komplexer Verfahrenstechnik, teilweise zweilinig

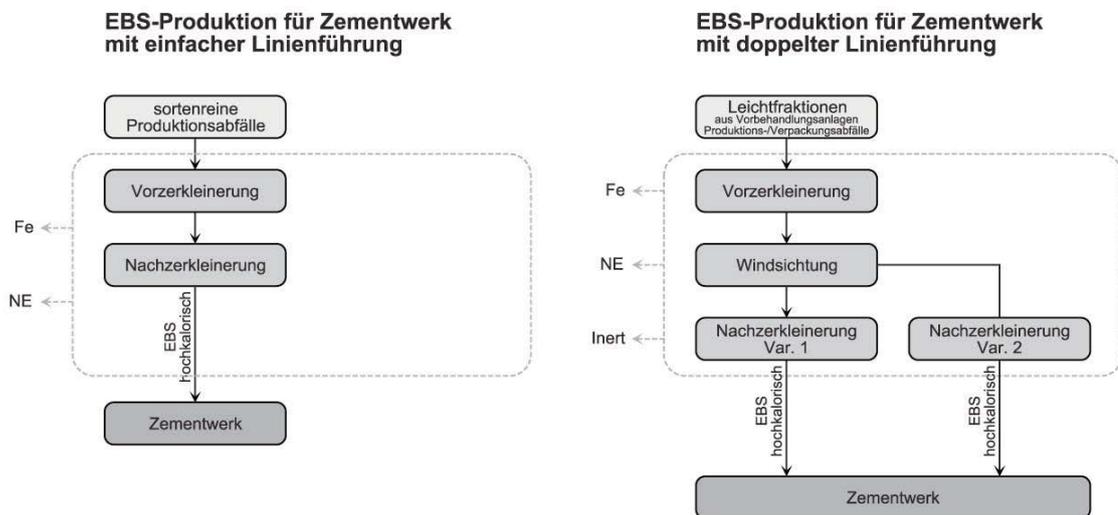


Abbildung 10: Grundsystem der EBS-Produktionsanlagen

Abbildung 11 zeigt eine Übersicht des EBS-Ausbringens (= Masseanteil von EBS bezogen auf den Gesamtinput des Anlagentyps). Es zeigt sich, dass das Ausbringen von EBS in Splittinganlagen und EBS-Produktionsanlagen sehr hoch ist und sich in einer Größenordnung von ca. 90 % bewegt. Diese Anlagen haben als Hauptzweck die Störstoffentfrachtung und „Konfektionierung“ für die nachfolgenden industriellen Mitverbrennungsanlagen.

Der Hauptzweck bei der MBA ist die Vorbehandlung vor der Deponierung. Wird lediglich Siebüberlauf hergestellt, so ist das Ausbringen an EBS in der MBA gleich Null. Nur bei der MBA mit zusätzlichen Verfahrensschritten zur Nachaufbereitung des Siebüberlaufes kann ein EBS-Ausbringen von bis zu 45 % erreicht werden. Jedenfalls ist die Herstellung von EBS nicht Hauptzweck der MBA.

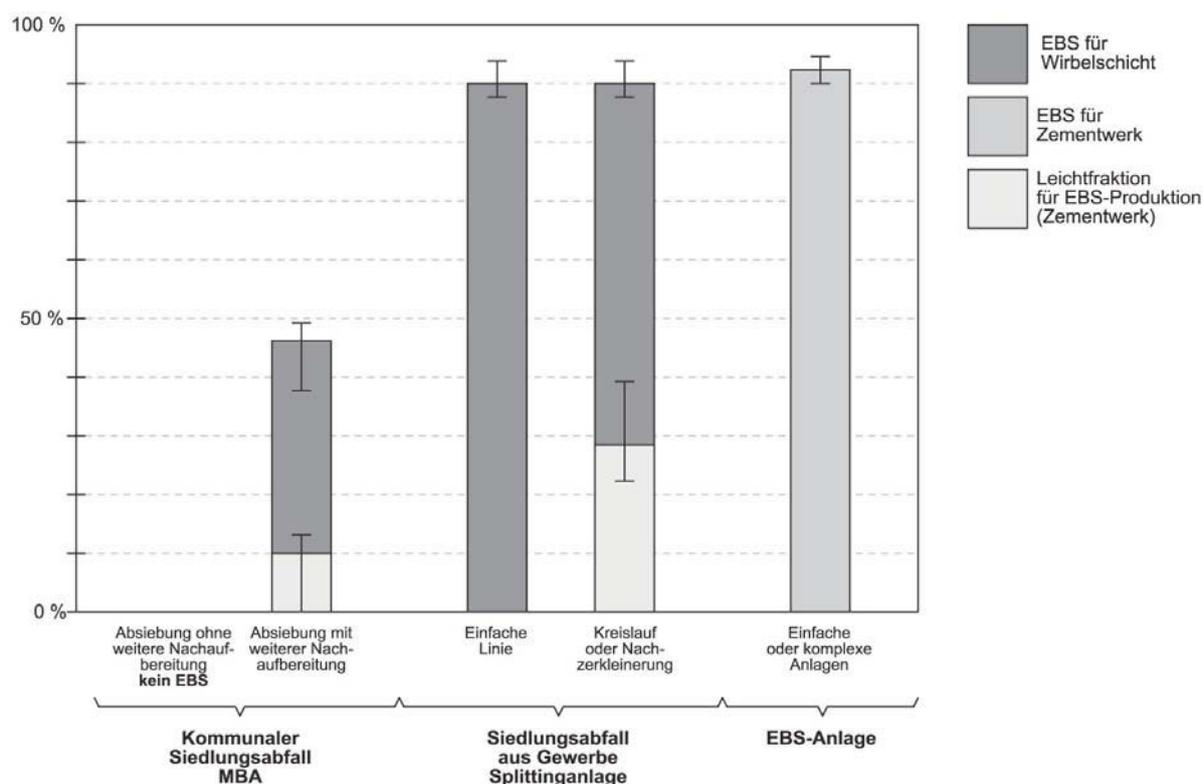


Abbildung 11: EBS-Ausbringen verschiedener Anlagenarten

3.2 Produktion von Ersatzbrennstoffen

Die Herstellung von Ersatzbrennstoffen erfolgt durch gezielte Aufbereitung von Abfällen. Ihre Brennstoffeigenschaften lassen sich auf zwei Arten beeinflussen [37, S. 63 – 65]:

- Durch die Auswahl von Stoffen, die nur ausgewählte, heizwertreiche Komponenten enthalten, wie z.B. Material aus getrennter Sammlung, vorsortierte Reststoffe, produktionsspezifische Abfälle.
- Durch mechanische Sortier- und Bearbeitungsschritte, die so ausgelegt werden, dass aus einem heterogenen Gemisch gezielt die gewünschten Stoffe (meistens heizwertreich und schadstoffarm) angereichert werden.

Die Verfahrensschritte zur Produktion eines geeigneten EBS sind einerseits abhängig vom zur Verfügung stehenden Inputmaterial (Art, Herkunft, Zusammensetzung, Störstoffanteil, Schadstoffgehalt, etc.) und andererseits von den Anforderungen des Abnehmers des EBS (Körnung, Störstoffanteil, Heizwert, physikalische und chemische Zusammensetzung, Lagerfähigkeit, Förderfähigkeit, etc.) [37, S. 18]. Die angewandten Verfahrensschritte selbst sind Technologien der mechanischen Verfahrenstechnik und sind in Tabelle 1 aufgelistet [7, S. 52].

Tabelle 1: Grundverfahren der EBS-Produktion

Zerkleinerung	- reißende, schlagende und schneidende Zerkleinerer - langsam und schnelllaufende Zerkleinerer
Sortierung	- Metallsortierung (Magnetscheidung, Wirbelstromscheidung) - Sichtung (Windsichtung) - Ballistische Verfahren (Ballistikseparator, NIR Trenngeräte)
Klassierung	- Siebung (Kreisschwingsiebe, Trommelsiebe)
Konditionierung	- Pressen (z.B. Ballenpressen), Pelletieren
Homogenisierung	- Lagerboxen

3.2.1 EBS für die Zementindustrie

Wie bereits zuvor bemerkt, sind die Anforderungen der industriellen Verwertungsanlagen an die zu verwertenden Abfälle unterschiedlich und erreichen bei der Zementindustrie besonders hohen Anspruch [14, S. 205] [7, S. 54]. Die Anforderungen sind einerseits prozessbedingt (Limitierung der Schadstoffgehalte wie z.B. Chlor) und andererseits durch die Art der Feuerungstechnologie (Vorgabe von Korngröße, Heizwert, Störstoffgehalt) bedingt. Die Anforderungen an die Korngröße und den Heizwert sind insbesondere davon abhängig, ob der EBS in der Primär- oder in der Sekundärfeuerung eingesetzt wird. Grundsätzlich sind die Anforderungen der Sekundärfeuerung niedriger als in der Primärfeuerung. [17, S. 312 ff]

Der Stand der Technik in der Herstellung von EBS für die Zementindustrie aus Siedlungsabfällen ist mehrfach in der Literatur beschrieben [38] [39] [40]. Insbesondere die EBS-Produktionsanlage ThermoTeam in Retznei [14] [41, S. 33 ff], repräsentiert zum jetzigen Zeitpunkt den Stand der Technik bei der Herstellung von EBS für die Primärfeuerung von Zementdrehrohröfen.

Getrennt erfasste Produktionsabfälle definierter Zusammensetzung, Kunststoffabfälle aus der Verpackungssammlung sowie geeignete vorbehandelte Fraktionen aus gemischten Gewerbeabfällen und aus Siedlungsabfällen dienen als Inputmaterial für die ThermoTeam-Anlage. Mit Ausnahme von sortenreinen Produktionsabfällen werden alle Fraktionen einer Vorbehandlung (Sortierung, Splitting oder mechanisch-biologische Vorbehandlung) unterzogen, bevor sie in die EBS-Produktionsanlage gelangen. Ausdrücklich zulässig ist die Verarbeitung von heizwertreichen Fraktionen aus Hausmüll/Siedlungsabfall, sofern dieser einem „qualitativen Splitting“⁽¹⁾ unterzogen wurde.

¹ „Qualitätssicherung muß die gesamte Kette von der Abfallsammlung über Vorbehandlung und ASB Produktion bis hin zum thermischen Einsatz des Alternativbrennstoffes ASB umfassen. Für gemischte Abfallfraktionen wurde der Begriff des ‚qualitativen Splitting‘ eingeführt. ‚Qualitatives Splitting‘ ist die Trennung von gemischten Abfällen in eine heizwertreiche und eine heizwertarme Fraktion, wobei die erforderlichen Verfahrensschritte auf die nachfolgende Alternativbrennstoffaufbereitung und die thermische Verwertung abgestimmt sind.“ [14, S. 208]

Wesentlich für die Einsatzfähigkeit des EBS sind physikalische Parameter. Insbesondere hat sich herausgestellt, dass die Kornverteilung, im Speziellen der Anteil an dickwandigen, so genannten 3-dimensionalen-Körnern, ein wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt. Die Kornverteilung beeinflusst maßgeblich das Ausbrandverhalten in der Flamme und muss daher bei entsprechend hoher Einsatzmenge flexibel gesteuert werden können.

Ein besonders wichtiger Qualitätsparameter für die ThermoTeam-Anlage ist die Homogenität des hergestellten ASB¹⁾ [17, S. 312]. Die Homogenisierung, als Verfahrensschritt der Produktion, ist eine Forderung der thermischen Verwertungsanlage, um eine möglichst gleichmäßige Zusammensetzung des Brennstoffes zu erhalten. Die im Produktionsprozess integrierte Homogenisierung ist ein wichtiger und akzeptierter Verfahrensschritt und keinesfalls einer Vermischung im Sinne des AWG's [3, Anhang 2] gleichzusetzen.

Weitere wesentliche Parameter beim Einsatz im Zementdrehrohrofen sind die pneumatische Förderfähigkeit und die absolute Freiheit von Spritzkorn (eingeschleppten Störstoffen). Zusammenfassend lässt sich die Anforderung des Zementwerkes an den EBS ASB durch folgende drei Schlagworte charakterisieren [14, S. 205]:

- blasfähig,
- ofenfertig und
- qualitätsgesichert.

Neben den emissionsrelevanten chemischen Parametern (Schadstoffgehalten), deren zulässige Grenzen im Zuge des Genehmigungsverfahrens festgelegt wurden, gibt es chemische Parameter, die aus Prozessgründen begrenzt werden müssen [5, S. 196]. Hier ist insbesondere der Gehalt an Chlor, welches aus PVC aber auch aus anorganischen Salzen stammt, zu nennen [37, S. 17]. Chlor ist im Zementprozess kein direkt emissionswirksames Element, doch ein verfahrenstechnisches Problem. Das Chlor bzw. Chlorid aus dem EBS ist ein flüchtiger Bestandteil, der in der heißen Zone des Drehrohrofens entweicht und in den kälteren Zonen des Wärmetauschers kondensiert. Es bilden sich unerwünschte Kreisläufe, die zu Verklebungen und Anpackungen führen können. Durch die Investition in Chlorbypassanlagen kann dieses Problem bewältigt werden, wodurch zukünftig größere Mengen an EBS eingesetzt werden können. Ein durchschnittlicher Chlorgehalt im EBS von 0,8 M-% ist einhaltbar und muss bei der Produktion, durch Mischung verschiedener Inputmaterialien, stabil gehalten werden. Im Anhang wird die EBS-Qualität für die Primärfeuerung am Beispiel des EBS der ThermoTeam-Anlage dargestellt (vgl. Anhang III.A).

¹⁾ ASB ist die Produktbezeichnung des in der Anlage des ThermoTeam hergestellten EBS und bedeutet „Aufbereiteter Substitut Brennstoff“.

Die Herstellung von EBS für die Sekundärfeuerung erfolgt in Anlagen mit ähnlicher Technologie wie für die Primärfeuerung. Da die Anforderungen an Korngröße und Heizwert geringer sind, können Anlagen, die EBS für die Primärfeuerung produzieren, grundsätzlich auch EBS für die Sekundärfeuerung herstellen.¹⁾ Der Stand der Technik ist also durch die Darlegung der Technologie der Produktion von EBS für die Primärfeuerung am Beispiel ThermoTeam hinreichend beschrieben.

Anforderungen an den HOTDISC-EBS in der Zementindustrie

Im Vergleich zum Stand der Technik beim EBS, der in der Primärfeuerung eingesetzt wird, sind die Anforderungen der HOTDISC an den EBS von folgenden Randbedingungen bestimmt:

1. Geometrische Einschränkungen

Die Übernahmestation ermöglicht die Aufgabe von Stückgut (z.B. Altreifen), das einzeln auf ein Förderband gelegt werden muss. Theoretisch kann der HOTDISC auch in Ballen verpresster EBS zugeführt werden.

Schüttgüter werden über Tiefbunker und Kran einem Förderband zugeführt. Dies bedingt eine gewisse Homogenität und Förderbandgängigkeit des zugeführten EBS (insbesondere das problemlose Passieren von Förderbandübergaben). Wesentliche Einschränkung ist die Aufgabe in die HOTDISC über ein 3-fach-Klappensystem. Dieses begrenzt die maximale Größe von einbringbaren Stücken (einzelne Körner oder Ballen) auf 1200 x 800 x 450 mm.

2. Störstoffe

Einzelne Teile, die zu physikalischen Problemen im Prozess führen können, beeinträchtigen die Qualität des EBS. Insbesondere zählen dazu massive unbrennbare Stücke, die den Drehrohrofen durchlaufen und in der nachfolgenden Klinkermühle (Schüsselmühle) zu Schäden führen können. Aufgrund von Betriebserfahrungen wurden Metalle, mit Schichtstärken von mehr als 3 mm, als problematisch definiert. Auch mineralische Fremdkörner mit besonderer Zusammensetzung können in der Mühle zu Problemen führen (z.B. Pflastersteine aus Granit).

Im Fördersystem können auch andere Materialien Probleme verursachen. So führen lange Teile, wie z.B. Bänder, zu Verwicklungen. Scharfkantige Metallteile können Schäden an den Fördergurten (Aufschlitzen) bewirken. Klebende Materialien (z.B. nicht ausgehärtete Kunststoffe) können anbacken. Staubende Materialien ziehen

¹⁾ Die EBS-Produktionsanlage der Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH produziert sowohl EBS für die Primär-, als auch für die Sekundärfeuerung.

Staubablagerungen und somit erhöhten Reinigungsaufwand und Erhöhung des Explosionsrisikos nach sich. Hygienisch bedenkliche Materialien verursachen Geruchsprobleme und gesundheitliche Risiken bei Reinigungsarbeiten.

3. Einschränkungen durch Ausbrandverhalten

Zu große Körner oder Agglomerate aus Körnern können in der HOTDISC nicht vollständig ausbrennen. Wenn zu große unverbrannte Teile in den Ofeneinlauf fallen, führt das zu CO-Spitzen im Abgas (Hinweis auf unvollständige Verbrennung). Die Korngröße des zugeführten EBS ist so zu begrenzen, dass ein vollständiger Ausbrand ermöglicht wird.

4. Chemische Einschränkungen (Spezifikationen)

Die chemische Zusammensetzung des zugeführten EBS hat Auswirkungen auf die Emissionen der Drehrohrofenanlage. Für Schwermetalle sind für Zementanlagen Transferkoeffizienten bekannt, sodass durch eine Rückrechnung von den zulässigen Emissionen die zulässige Konzentration von Schwermetallen im EBS definiert werden kann.

Folgende chemische Parameter wurden vom Zementwerk als Einschränkung bzw. Erfordernisse an die EBS-Qualität definiert (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Qualitätsanforderungen HOTDISC-EBS

Qualitätsanforderungen HOTDISC-EBS		
	Einheit	Maximalwerte loses Material
Wasser	%	max. 22
Korngröße	mm	< 80
Asche	%	20 – 30
Hu	GJ/t	min. 14
PCB	mg/kg	50
Cl*	%	max. 1 (Ø 0,7)
CN	mg/kg	2
F	mg/kg	1000
S	%	0,8
Sb	mg/kg	100
As	mg/kg	200
Ba	mg/kg	200
Be	mg/kg	50

Sn	mg/kg	20
Cr*	mg/kg	Ø 70
Cd	mg/kg	50
Co	mg/kg	200
Mn	mg/kg	500
Cu	mg/kg	1000
Ni	mg/kg	1000
Pb	mg/kg	1000
Hg	mg/kg	1
Se	mg/kg	10
Tl	mg/kg	10
Te	mg/kg	5
V	mg/kg	20
Zn	mg/kg	5000

* = Zielwerte

Besondere Bedeutung hat der Parameter Chlor [42, S. 165 ff]. Durch Chlor entstehen in der Drehrohrofenanlage u.a. unerwünschte Kreisläufe, sodass nur eine begrenzte Menge an Chlor toleriert werden kann. Durch die Installation eines Chlor-Bypass-Systems kann eine Teilmenge an Chlor aus dem Prozess entfernt und dadurch die Chlorzufuhr (aus EBS, aber auch anderen Rohstoffen) erhöht werden.

5. Physikalische Parameter

Heizwert: Die HOTDISC ermöglicht auch die Verbrennung von mittelkalorischem EBS. Technisch ist ein minimaler Heizwert von ca. 12 MJ/kg zulässig.¹⁾ Dieser ermöglicht in der Drehrohrofenanlage eine ausreichend positive Energiebilanz. Vertraglich wurde die Hu-Grenze auf 14 MJ/kg fixiert. Hierfür sind auch ökonomische Gründe verantwortlich.

Feuchte: Der Hu wird auch wesentlich vom Wassergehalt bestimmt. Dieser bestimmt wiederum ganz erheblich die Gasmengen, die im Wärmetauscher zu bewältigen sind und begrenzt somit die Feuchte des EBS.

Diese Einschränkungen führten zur Aufstellung von Spezifikationen als Basis für die Qualitätsdefinition im Liefervertrag. Die genaue Qualitätsdefinition konnte aber erst im Zuge des Projektes erfolgen.

¹ Laut Mitteilungen der Holcim

3.2.2 EBS für Wirbelschichtanlagen

Die Anforderungen an EBS für Wirbelschichtverbrennungsanlagen sind geringer als jene an EBS für die Zementindustrie. Das Feuerungssystem und die nachgeschaltete Rauchgasreinigung legen die Qualität des einsetzbaren EBS fest.

Üblicherweise erfolgt die Herstellung des EBS nicht in dafür spezialisierten EBS-Produktionsanlagen (wie bei der EBS-Herstellung für die Zementindustrie), sondern in Splittinganlagen (für Gewerbeabfälle) oder in der MBA. Auch in diesen Anlagen werden die oben angeführten Grundverfahren der mechanischen Verfahrenstechnik kombiniert (vgl. Kapitel 3.1).

Splittinganlagen produzieren EBS aus dem Rohstoff „Gemischte Gewerbeabfälle“ (sog. „Siedlungsabfall“ aus gewerblicher Sammlung) [43]. Die Anforderungen an die Korngröße differieren je nach Anlage, wobei die Korngröße üblicherweise maximal zwischen 70 – 100 mm liegt (vgl. Anhang III). Die Anforderungen an die Störstoffe (Steine, Metalle) sind in der Praxis ebenfalls unterschiedlich. Gemäß Spezifikationen werden sie mit ca. 0,5 – 1,0 M-% begrenzt. Um hohe Durchsätze in den Verbrennungsanlagen zu erreichen, werden EBS mit mittlerem Heizwert gefordert. Technisch sind auch höhere Heizwerte möglich, aus wirtschaftlichen Gründen wird durch Preisgestaltung oder vertragliche Regelungen der Heizwert des EBS begrenzt (10 – 14 MJ/kg). Im Anhang ist als Beispiel für einen Wirbelschicht-EBS die Spezifikation der RVL Lenzing dargestellt (vgl. Anhang III.B).

Der Stand der Technik kann durch folgende Anlagen verdeutlicht werden:

1. Splittinganlage Wien der SDAG (vgl. Kapitel 4)

Rohstoff: gemischter Gewerbeabfall („Siedlungsabfall“ aus gewerblicher Sammlung).

Verfahrenstechnik: Vorzerkleinerung, Siebung, Fe-Scheidung, Windsichtung, Kreislaufzerkleinerung (daher keine Nachzerkleinerung, die Herstellung der erforderlichen Körnung erfolgt durch Siebung).

2. Splittinganlage St. Margarethen der Fa. Müllex

Rohstoff: gemischter Gewerbeabfall, Hausmüll („Siedlungsabfall“ aus gewerblicher und kommunaler Sammlung).

Verfahrenstechnik: Vorzerkleinerung, Siebung, Fe-Scheidung, Windsichtung, Nachzerkleinerung.

3. Mechanische Behandlungsanlage Graz der AEVG

Rohstoff: Hausmüll („Siedlungsabfall“ aus kommunaler Sammlung), untergeordnet auch „Siedlungsabfall“ aus gewerblicher Sammlung.

Verfahrenstechnik: Vorzerkleinerung, Siebung, Fe-Scheidung, NE-Scheidung, Windsichtung, Nachzerkleinerung.

Die Anlage ist der mechanische Teil der MBA, der biologische Anlagenteil ist regional getrennt und befindet sich in Frohnleiten.¹⁾

3.2.3 EBS für Kraftwerke

Die Anforderungen an EBS in Kraftwerken werden von Thiel [6] umfangreich beschrieben. Hier bestimmt die Feuerungstechnologie die Anforderung an die EBS-Qualität. Die eingesetzten Verfahren zur Produktion des EBS sind vergleichbar mit der Herstellung von EBS für die Zementindustrie. Auch wenn als Feuerungstechnologie die Wirbelschichtverbrennung eingesetzt wird, sind die Anforderungen an den EBS höher als in Wirbelschichtverbrennungsanlagen, die speziell für die Abfallverbrennung errichtet wurden. Der Grund hierfür liegt in den individuellen verfahrenstechnischen Merkmalen, Betriebsweisen und Rahmenbedingungen eines jeden Kraftwerkes. Vor allem in Hinblick auf Art und Ausgestaltung des jeweiligen Feuerungssystems verbunden mit dem Regelbrennstoff, aber auch bezogen auf das zum Einsatz gelangende Abgasreinigungssystem, die jeweiligen Entsorgungswege der Kraftwerksnebenprodukte und nicht zuletzt aufgrund der Genehmigungssituation sind die Anforderungen an die EBS-Qualität individuell zu beurteilen und festzulegen. [6, S. 59]

Im Gegensatz zu Deutschland, wo zwar das Aufstellen von Prognosen für den zukünftigen Einsatz von EBS schwierig ist, werden Kraftwerke in Österreich nicht als realistische Option für die Ersatzbrennstoffverwertung angesehen. Die wenigen bestehenden Steinkohlekraftwerke in Österreich werden als Spitzenlastkraftwerke betrieben und können dementsprechend momentan keine vorteilhaften Rahmenbedingungen für den Einsatz von EBS bieten. [7, S. 168]

3.3 Wirtschaftliche Bedeutung von EBS

Die wirtschaftliche Position von EBS konnte sich erst entwickeln, als einerseits der Bedarf der Industrie an kostengünstigen alternativen Energieträgern vorhanden war und andererseits die Entsorgungswirtschaft einsetzbare Ersatzbrennstoffe aus dem teilweise sehr inhomogenen Rohstoff „Abfall“ produzieren konnte.

Im Bereich der flüssigen EBS (Altöl, Lösungsmittel) wurde in Österreich bereits in den 1980er Jahren in der Zementindustrie begonnen, mit Entsorgungsunternehmen zusammenzuarbeiten.²⁾ Feste EBS (anfangs zerkleinerte Kunststoffabfälle) wurden in Österreich und

¹ Biologische Behandlungsanlage Frohnleiten der SERVUS ABFALL Dienstleistungs GmbH & Co KG

² Vorreiter in Österreich z.B. Fa. Rumpold, Trofaiach gemeinsam mit Gmundner Zementwerke

Deutschland in den 1990er Jahren entwickelt.¹⁾ Es war dies teilweise ein mühevoller Weg, da die spezialisierte Maschinen- und Aufbereitungstechnik noch nicht entwickelt war und die damals noch kostengünstige Deponie alle alternativen Verwertungslösungen wirtschaftlich unattraktiv machte.

Erst die Industrialisierung der Abfallwirtschaft [44, S. 37 ff], die Nachfrage der Industrie nach kostengünstigen alternativen Energieträgern und neue rechtliche Rahmenbedingungen (u.a. Verpackungsverordnung, Deponieverordnung) ermöglichten die positive wirtschaftliche Entwicklung des EBS-Bereiches sowohl in der Entsorgungswirtschaft als auch in der Industrie.

3.3.1 Bedeutung von EBS für die Entsorgungswirtschaft

Für die österreichische Entsorgungswirtschaft liegen keine gesicherten Daten über die Bedeutung von EBS vor. Tatsache ist jedoch, dass erst ab 2004 die Bedeutung dieses Bereiches massiv gestiegen ist [17, S. 316].

Es ist von der Verwertungsstrategie des einzelnen Entsorgungsunternehmens abhängig, wie hoch die Bedeutung des EBS-Bereiches letztlich ist. Es wurden dabei von den Unternehmen unterschiedliche Strategien verfolgt. Einerseits gibt es Entsorgungsfirmen, die in ihrer Strategie voll auf das MVA-Konzept gesetzt und keine Aktivitäten im Bereich EBS entwickelt haben. Andererseits gibt es Entsorgungsunternehmen, wie z.B. die SDAG, die ihre Verwertungsstrategie für Siedlungsabfälle fast vollständig auf mechanischer Vorbehandlung und thermischer Verwertung aufgebaut haben. Verbreitet sind bei größeren Entsorgungsunternehmen meist Mischstrategien.

Besondere Bedeutung hat die Sicherung des Zuganges zu thermischen Verwertungslösungen erhalten. Diese stellten sich seit 2004 als Schlüssel der wirtschaftlichen Entwicklung dar. Nur unter der Voraussetzung von bestehenden Zugängen zur und Lieferverträge für EBS mit der Industrie, konnten die Mengen und Umsätze der Entsorgungsunternehmen ausgebaut werden. EBS-Produktion und der Zugang zu industriellen Verwertungspartnern stellten sich somit als wesentlicher Wettbewerbsvorteil heraus.

Der Umsatz von Ersatzbrennstoffen in der privaten österreichischen Entsorgungswirtschaft kann nur abgeschätzt werden. Hochkalorische und mittelkalorische EBS dürften einen geschätzten Umsatz von ca. € 90 – 110 Mio. in privaten Entsorgungsunternehmen Österreichs generieren. Die wirtschaftliche Bedeutung von EBS in der österreichischen Entsorgungswirtschaft ist in den nächsten Jahren jedenfalls als steigend einzuschätzen. In Bezug auf die

¹⁾ Vorreiter in Österreich z.B. Fa. MAMI in Golling, und Fa. Baufeld in Zusammenarbeit mit Zementwerk Wietersdorf, in Deutschland eine der ersten großindustriellen Anlagen zur EBS-Produktion durch Fa. Trienekens in Ulm.

gesamten wirtschaftlichen Tätigkeiten und Dienstleistungen der österreichischen Entsorgungswirtschaft ist EBS mittlerweile ein bedeutender Teilbereich.

Im Vergleich zu anderen großen Entsorgungsunternehmen Österreichs (.A.S.A., AVE, UEG), weist der EBS-Bereich für die SDAG eine besonders hohe wirtschaftliche Bedeutung auf. Bereits 25 % aller von SDAG in Österreich gesammelten Abfälle werden als hoch- oder mittelkalorischer EBS an nationale und internationale Verwerter geliefert [45, S. 38].

Folgender Auszug aus dem Börseprospekt der SDAG beschreibt die aktuelle und zukünftige Bedeutung des EBS-Bereiches zusammenfassend:

„Die Gesamtkosten der Abfallentsorgung im Rahmen der industriellen Mitverbrennung (EBS) liegen unter jenen der alternativen Beseitigung der Müllverbrennung, obwohl sich der Preis für Ersatzbrennstoffe aufgrund der zu geringen Verbrennungskapazitäten noch immer am Abfallmarkt orientiert und derzeit die aus Ersatzbrennstoffen gewonnene Energie noch nicht ausreichend vergütet wird. Das Management der Saubermacher Gruppe erwartet, dass sich die Preise für Ersatzbrennstoffe mittel- und langfristig an die Rohstoff- und Energiepreise anlehnen werden. Dies stellt ein hohes Kosteneinsparungspotential für die Zukunft dar, da die Kosten für die Verwertung großen Einfluss auf die Abfallkalkulation, also der Gesamtkosten der Abfallentsorgung, haben. Das Management der Saubermacher Gruppe erwartet mittel- und langfristig eine Konkurrenzfähigkeit zur alternativen Müllverbrennung.“ [45, S. 37]

Eine Studie der Universität Graz¹⁾ untersuchte die volkswirtschaftlichen Effekte der EBS-Produktion und Verwertung am Beispiel der Massenströme der SDAG [46]. Auf Basis des Vergleichs mit zwei Alternativszenarien wurden sämtliche direkte, als auch indirekte volkswirtschaftliche Wirkungen erfasst. Bei den Alternativszenarien handelt es sich um die direkte Verbrennung von Abfällen in zwei unterschiedlichen Müllverbrennungsanlagen. Ergebnis dieses Vergleichs ist, dass der Einsatz von aufbereiteten Abfällen in Form von EBS als volkswirtschaftlich effizient zu bezeichnen ist. Einerseits generiert deren Einsatz eine zusätzliche Wertschöpfung zum österreichischen Bruttoinlandsprodukt in der Größenordnung zwischen 26 – 34 Mio. €. Andererseits sichert deren Einsatz auch Arbeitsplätze in der Größenordnung zwischen 500 – 600 relativ zu den beiden Vergleichsszenarien. Die sich dadurch ergebende Entlastung des Staatshaushaltes und gleichzeitige Steigerung der Lohneinkommen der Haushalte tragen zwischen 27 – 33 Mio. € zur heimischen Güternachfrage bei.

¹ Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Volkswirtschaftslehre

3.3.2 Bedeutung von EBS für die Zementindustrie

Die inländische Erzeugung von Energie in Österreich betrug 2005 insgesamt 412.347 TJ. Das sind 24,8 % des österreichischen Gesamtenergieaufkommens [47, S. 2]. Von dieser inländischen Energieerzeugung wurden 2.290 TJ (das sind 4,92 %) durch die Verwertung von brennbaren Abfällen erzeugt. Der durchschnittliche Heizwert der verbrannten Abfälle stieg im Laufe der letzten Jahre auf 11,7 MJ/kg (1980: 9,2 MJ/kg; 1990: 10,1 MJ/kg). [48] [49] [50] [51] [52] [53]

Die Industriesparte „Steine, Erden, Glas“ kann bezüglich Abfallverbrennung auf die Zementindustrie reduziert werden. Sie trug zur inländischen Energieerzeugung des Jahres 2005 mit 5.005 TJ bei. Es waren dies 50,4 % der gesamten Energieerzeugung aus Abfällen des produktiven Bereiches in Österreich.

Wie sich aus nachfolgender Abbildung 12 erkennen lässt, haben sich die Einsatzmengen von EBS in der österreichischen Zementindustrie in den letzten Jahren stark erhöht.

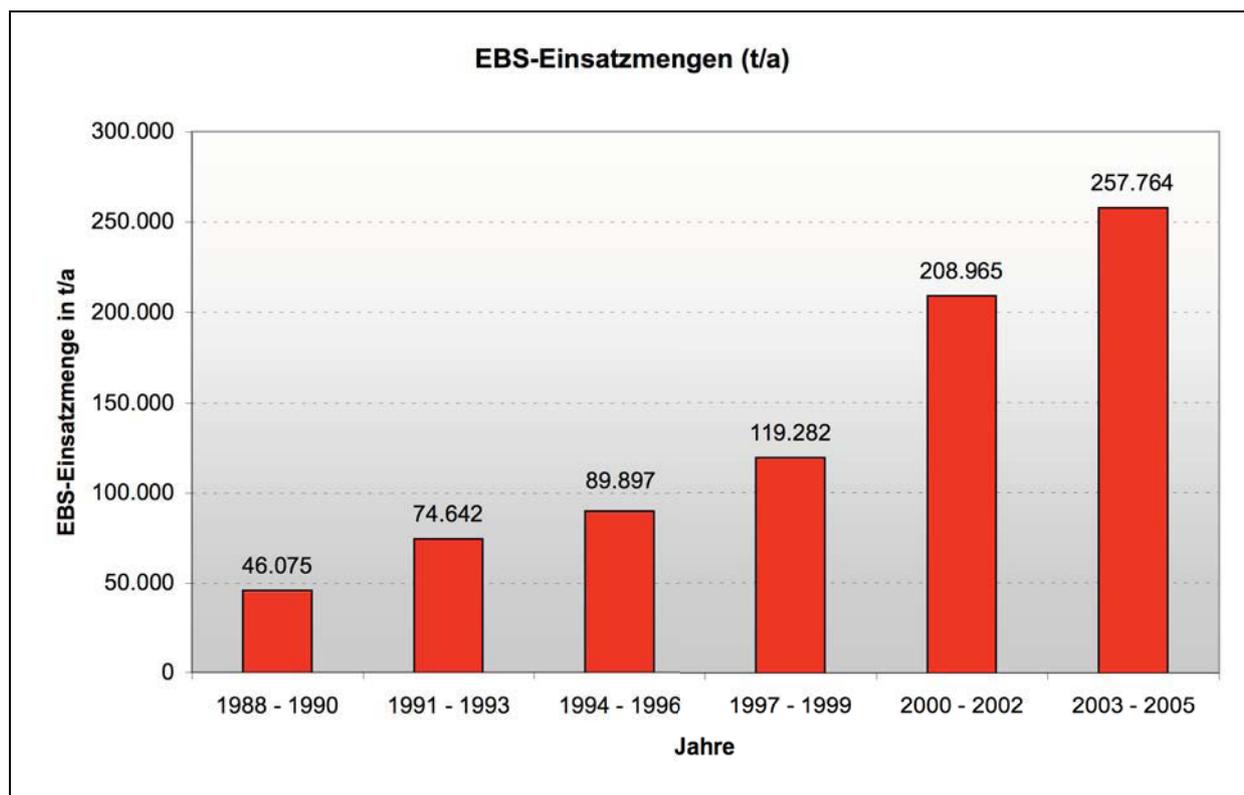


Abbildung 12: EBS-Einsatzmengen in der Österreichischen Zementindustrie¹⁾

¹⁾ Durchschnittliche Einsatzmengen aus jeweils drei Jahren.

Die Abbildung 13 zeigt den Substitutionsgrad (Anteil von EBS an den gesamten Brennstoffen) in der Zementindustrie. Dabei trugen kunststoffhaltige EBS im Jahr 2005, von der insgesamt eingesetzten auf EBS entfallenden Energie von 5.755 TJ, 2.236 TJ (d.h. 38,86 % der EBS-Energie) bei. Weitere EBS waren Altreifen, Altöl, Lösungsmittel, landwirtschaftliche Rückstände, Papierfaserreststoffe und Tiermehl.

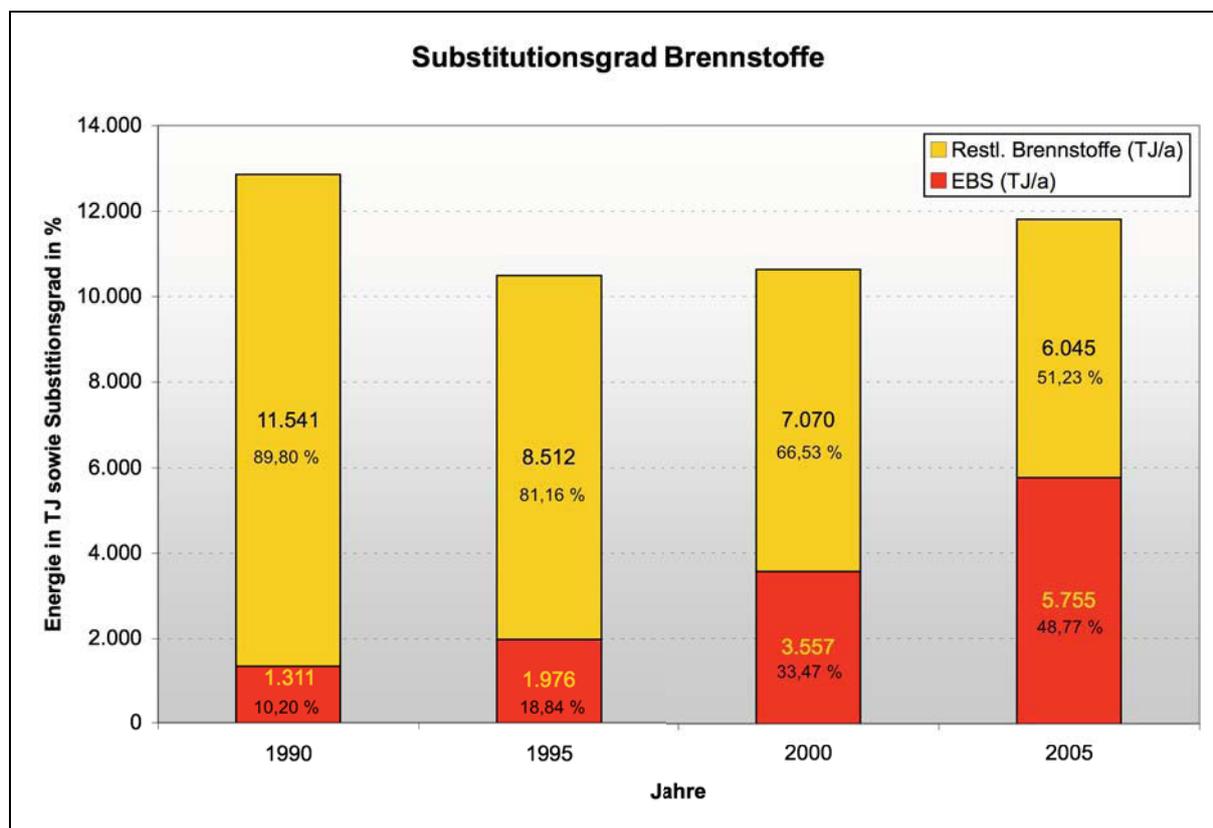


Abbildung 13: Substitutionsgrad der Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie

4 EBS-Produktion in der Splittinganlage Wien

Die moderne Abfall- bzw. Verwertungswirtschaft ist ein System/Netzwerk¹⁾ von Elementen mit gegenseitiger Abhängigkeit. Ein großes Entsorgungsunternehmen benötigt die Kombination verschiedener Anlagentypen. Die einzelnen Anlagen (= Elemente) stehen untereinander in Beziehung und sind von einander abhängig. Die Anlagen sind zugleich Elemente und Subsysteme des Gesamtsystems „Thermische Verwertung von Abfällen“. Die Verbindungen zwischen den Anlagen sind Stoff- und Güterströme.

Im Folgenden wird das System „Thermische Verwertung von Abfällen“ am Beispiel eines österreichischen Entsorgungsunternehmens dargestellt [54, S. 443 ff].

4.1 System der thermischen Verwertung von Abfällen

Das grundlegende Konzept geht von mehreren Ebenen und mehreren Anlagentypen aus. Entsprechend Abfallqualität erfolgt die Zuordnung zu den geeigneten Anlagentypen (vgl. Abbildung 14).

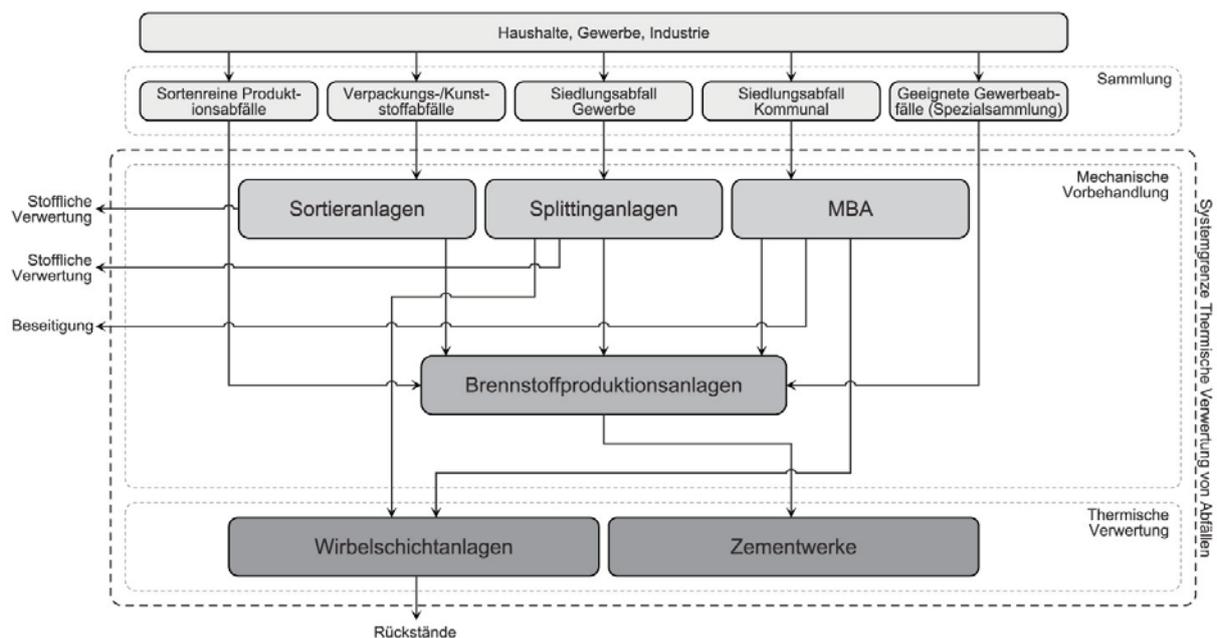


Abbildung 14: Systemübersicht „Thermische Verwertung von Abfällen“

Quelle: [54, S. 444 (modifiziert)]

¹⁾ „Wie jeder Organismus besteht ein komplexes System aus mehreren verschiedenen Teilen (Organen), die in einer bestimmten dynamischen Ordnung zueinander stehen, zu einem Wirkungsgefüge vernetzt sind. In dieses kann man nicht eingreifen, ohne dass sich die Beziehung aller Teile zueinander und damit der Gesamtcharakter des Systems ändern würde. Reale Systeme sind darüber hinaus auch immer offen und erhalten sich durch ständigen Austausch mit der Umwelt.“ [55, S. 25]

Die Gestaltung von konkreten Anlagen weicht manchmal vom Modell ab, allerdings werden die Grundsätze der Verfahrensführung und der Qualitäten durch das Modell abgebildet.

Die Sammellogistik von Abfällen ist einerseits abfallspezifisch (massen- und qualitätsabhängig) und andererseits bedarfsspezifisch, d.h. sie ist von den Anforderungen des Abfallerzeugers (Kunden) und des Dienstleisters (Entsorgungsunternehmen) abhängig. Die Art der Erfassung von Abfällen beim Abfallerzeuger (z.B. getrennte Sammlung) und die Art der Sammellogistik (z.B. Behälterart, Transportsystems) beeinflussen Abfallqualität und Sammelmengen. Die Hauptmengen der Abfallströme im dargestellten System sind Siedlungsabfälle kommunaler und gewerblicher Herkunft. Diese werden der mechanischen Vorbehandlung in MBA und Splittinganlagen zugeführt. Sortenreine Produktionsabfälle mit definierter Zusammensetzung können direkt als Rohstoff in der EBS-Produktionsanlage eingesetzt werden.

Mechanische Vorbehandlung

Die Ebene „Mechanische Vorbehandlung“ umfasst Sortieranlagen, Splittinganlagen, mechanisch-biologische Anlagen sowie EBS-Produktionsanlagen.

Sortieranlagen: Diese haben als Hauptziel die Herstellung sortenreiner, stofflich verwertbarer Fraktionen aus Verpackungsabfällen und geeigneten Gewerbeabfällen.

Splittinganlagen: Diese behandeln vorrangig gemischte Gewerbeabfälle und arbeiten nach dem Prinzip des „qualitativen Splittings“. Sie erzeugen einerseits ofenfertigen, mittelkalorischen EBS für Wirbelschichtanlagen und andererseits hochkalorische Leichtfraktion, als Rohstoff für die nachfolgende EBS-Produktion für den Zementdrehrohrofen.

Mechanisch-biologische Anlagen (MBA) für Siedlungsabfälle: Hier erfolgt im mechanischen Teil die Herstellung von heizwertreichen Fraktionen für Wirbelschichtanlagen und EBS-Produktionsanlagen.

EBS-Produktionsanlagen: Hochkalorische „Rohstoffe“ aus sortenreiner Sammlung, Splittinganlagen, Sortieranlagen und MBA werden zu ofenfertigem, blasfähigem und qualitätsgesichertem EBS für die thermische Verwertung in Zementdrehrohrofen.

Thermische Verwertung

Die Ebene „Thermische Verwertung“ beinhaltet Zementwerke und Wirbelschichtanlagen.

Zementwerke: EBS werden primär- oder sekundärseitig als Substitution von Primärbrennstoffen wie Kohle oder Petcoke eingesetzt.

Wirbelschichtanlagen: Die thermische Verwertung in industriellen Mitverbrennungsanlagen bedingt EBS mit mittlerem Energieinhalt, definierter Korngröße und begrenztem Störstoffanteil.

Langfristige Lieferverträge mit Industriellen Mitverbrennungsanlagen (z.B. RVL Lenzing und ENAGES, Niklasdorf) sichern die Abnahme des in den Splittinganlagen hergestellten mittelkalorischen Ersatzbrennstoffes.

Aus der EBS-Produktionsanlage (ThermoTeam) werden die Zementwerke (Retznei und Mannersdorf der Lafarge Perlmooser AG, sowie andere) beliefert.

Die thermischen Verwertungsanlagen haben Revisions- und Stillstandszeiten, in denen keine Anlieferungen möglich sind. In den Splittinganlagen besteht daher die Möglichkeit, auch schwerpunktmäßig für unterschiedliche Anlagen zu produzieren und so die Abnahmestopps auszugleichen.

Durch eine Kombination von Vorbehandlungsanlagen und thermischen Verwertungsanlagen konnte z.B. die SDAG die Vorgaben der Deponieverordnung umsetzen und die Verwertungsquote stark erhöhen. Besondere Bedeutung hat die Produktion von Ersatzbrennstoffen in den Splittinganlagen und der EBS-Anlage ThermoTeam sowie ihre Verwertung in Wirbelschichtanlagen und der Zementindustrie. Die Abfallwirtschaft der SDAG hat sich vom einfachen System „Beseitigung in der Deponie“ zu einem komplexen und mehrdimensionalen System „Thermische Verwertung von Abfällen“ entwickelt.

4.2 Modulares Produktionsmodell für EBS-Produktions- und Splittinganlagen

Die Produktion von EBS unterschiedlicher Qualität und aus unterschiedlichen Rohstoffen erfolgt in ähnlichen Anlagen. Anlagen mit eingeschränkter Verfahrenstechnik können auch Teilschritte durchführen und Zwischenprodukte (z.B. Heizwertreiche Fraktionen) produzieren, die nachfolgend von anderen Anlagen weiterbehandelt werden.

Das nachfolgend dargestellte modulare Produktionsmodell¹⁾ beschreibt mechanische Behandlungsanlagen, die EBS unterschiedlicher Qualität oder Zwischenprodukte herstellen. Durch Kombination einzelner Module können Splittinganlagen und EBS Produktionsanlagen (mittelkalorische EBS und hochkalorische EBS) beschrieben und konzipiert werden. „Module“ sind hier standardisierte Verfahrensschritte, d.h. die verfahrenstechnischen Prinzipien und nicht die konkrete maschinelle Umsetzung. Sie stellen die Grundlage für die Konzeption der Anlagen gemäß dem zuvor beschriebenen System der Thermischen Verwertung von Abfällen (vgl. Kapitel 4.1) dar und wurden bei der Konzeption von Anlagen eines österreichischen Entsorgungsunternehmens angewendet. Die nachstehend angeführten Module ergeben zusammen eine komplette Aufbereitungsanlage, welche outputseitig einem Mindeststandard entspricht. Die einzelnen Module sind mit ihrer Schnittstelle so gestaltet, dass sie voneinander unabhängig errichtet und betrieben werden können. Je nach Anlagenzweck, Rohstoff

¹ Das Produktionsmodell wurde von der SDAG in Zusammenarbeit mit der IG-IUT GmbH entwickelt und ab 2002 bei der Konzeption von mechanischen Behandlungsanlagen angewandt.

und geforderter Outputqualität können bestimmte Module aktiviert oder ausgeblendet werden.

Das Produktionsmodell umfasst die Module in Abbildung 15. In Abbildung 16 sind diese in Kombination beispielhaft dargestellt. Eine ausführliche Darstellung des modularen Produktionsmodells befindet sich im Anhang (vgl. Anhang VI).

Modul 1	Ausgangs- u. Eingangskontrolle
Modul 2	Flachbunker
Modul 3	Vorzerkleinerung
Modul 4	Siebstufe
Modul 5	Qualitätssicherung
Modul 6	Schwer-/Leichttrennung
Modul 7	FE-Abscheidung
Modul 8	NE-Metallabscheidung
Modul 9	Nachzerkleinerung
Modul 10	Transportkonditionierung
Modul 11	Zwischenlagerung
Modul 12	Verladung

Abbildung 15: Modulaufbau

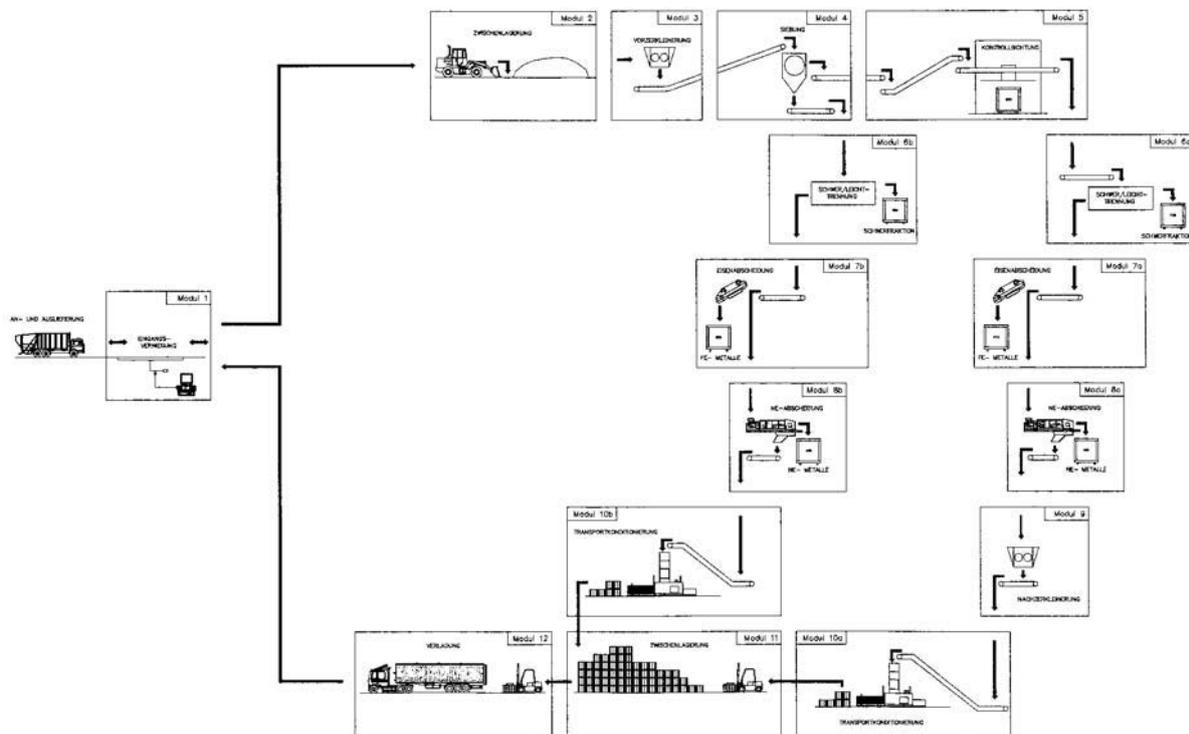


Abbildung 16: Aufbau des modularen Produktionsmodells für EBS (Vgl. Anhang-Abb. 31)

4.3 Verfahrensbeschreibung zur Splittinganlage

Die SDAG Splittinganlage Wien wurde am 1.1.2004 in Betrieb genommen. Sie besteht aus dem Inputbereich, dem Maschinenbereich, dem Outputbereich sowie dem Logistikbereich (vgl. Abbildung 17). Zum besseren Verständnis sind die nachstehend beschriebenen Prozesse in einem Verfahrensfliessbild dargestellt (vgl. Abbildung 18).

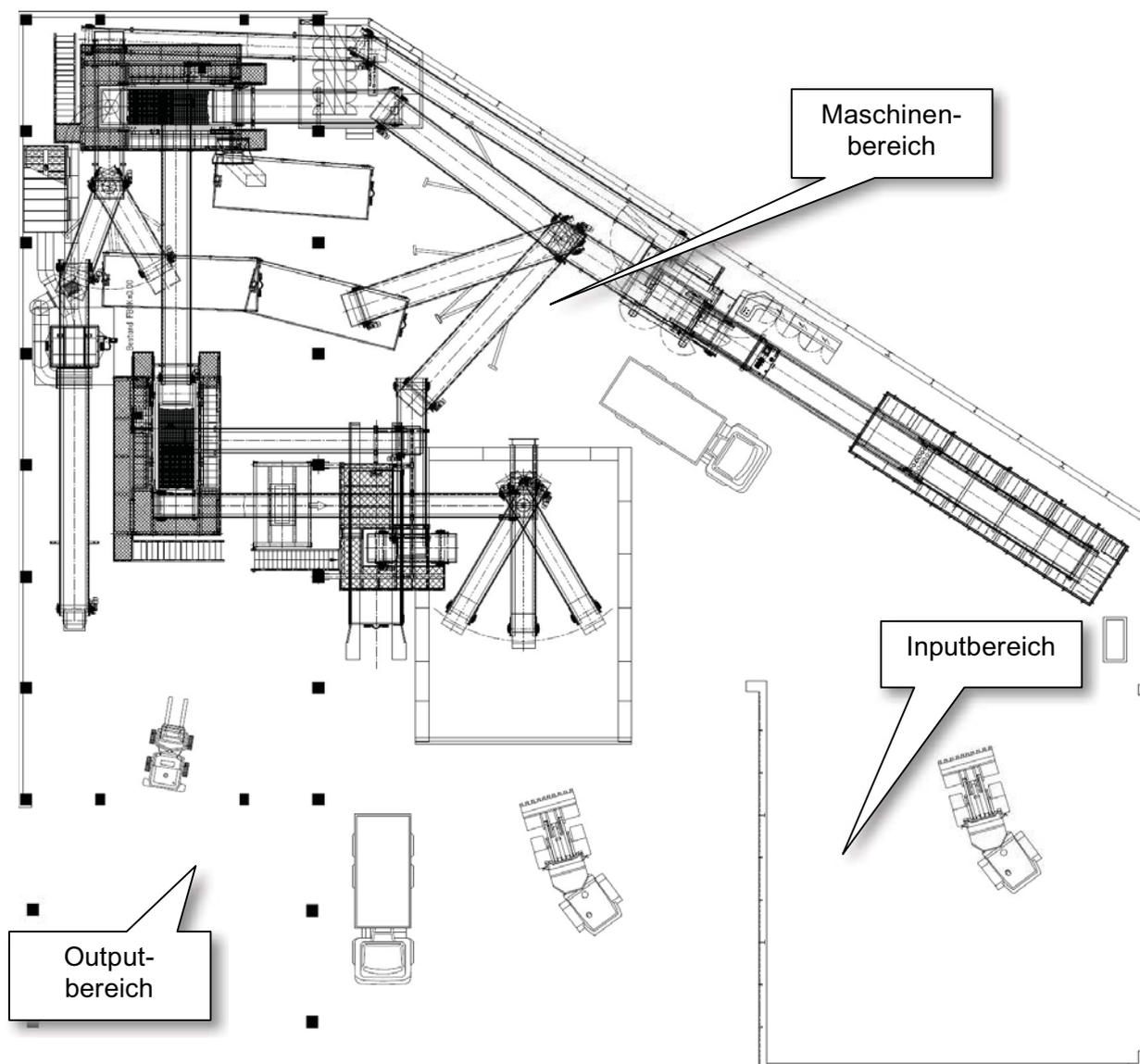


Abbildung 17: Grundriss der SDAG Splittinganlage Wien vor dem Umbau

Abfallsammelfahrzeuge (Pressmüll-LKW, div. Container-LKW, Walkingfloor-LKW sowie Fahrzeuge von Kleinanlieferern) entleeren diverse Gewerbeabfälle im Inputbereich der Splittinganlage. Hier erfolgt eine Grobsichtung des Abfalls durch die Anlagenmitarbeiter. Dies soll gewährleisten, dass Fehlwürfe, die zu Anlagenschäden führen können, wie z.B. Betonbrocken oder große Metallteile, nicht in die Anlage eingebracht werden.

Der vorsortierte Gewerbemüll wird mittels Radlader auf den Vorzerkleinerer aufgegeben. Hier wird der Abfall mittels langsam laufenden Einwellenzerkleinerer mit Schnittspalt so weit zerkleinert, dass die einzelnen Teile nicht größer als 40 cm sind, wenn sie den Shredder verlassen. Das Zerkleinerungsprinzip ist reißend, durch einen geeigneten Siebkorb entsteht ein definiertes Zerkleinerungsergebnis sowie eine gute Kornverteilung für die nachfolgenden Verfahrensschritte der Klassierung und Windsichtung. Dieser zerkleinerte Abfall gelangt nun über einen Magnetabscheider, welcher ca. 97 M-% des im Abfall beinhalteten Eisens abtrennt. Das abgetrennte Eisen wird direkt in einen Container abgeworfen und zu verschiedenen Schrotthändlern verbracht. Durch Kreislaufführung der Schwerfraktion aus dem Windsichter wird eine in der Korngröße undefinierte und störstoffangereicherte Fraktion vermieden.

Der übrige Stoffstrom wird nun über ein Sieb mit einem Siebschnitt von 80 mm geführt. Dies führt zu einer Stoffstromteilung in zwei Fraktionen. Die eine Fraktion hat eine maximale Kantenlänge ≤ 80 mm, die andere Fraktion > 80 mm.

Die Fraktion > 80 mm wird sodann über einen Windsichter geführt. Dieser bläst von unten in den Materialstrom und saugt ihn oben ab. Dadurch ergibt sich eine Trennung in schweres und leichtes Material. Der wesentlich kleinere, schwere Materialstrom wird über ein Förderband zurück in den Shredder geleitet und noch einmal über die Anlage geführt. Die durch den Windsichter gezogene Leichtfraktion wird in Ballen gepresst und besteht vorwiegend aus zweidimensionalen Kunststoff-, Papier- und Verbundfraktionen. Der Heizwert liegt zwischen 20 – 24 MJ/kg. Die im Zwischenlager gestapelten Ballen werden mit Walkingfloor-LKW zur ThermoTeam-Anlage nach Retznei transportiert und dienen dort als Rohstoff für die nachfolgende EBS-Produktion.

Durch die Klassierung (Schwingsieb Trennschnitt 80 mm) nach der Vorzerkleinerung entsteht eine Fraktion 0 – 80 mm. Dieser Materialstrom ≤ 80 mm wird über ein zweites Sieb mit einem Siebschnitt von 20 mm geführt und von der mineralischen Feinfraktion befreit. Die abgesiebte Feinfraktion (< 20 mm) wird direkt in Container verladen und zur weiteren Behandlung (z.B. Nachrotte) abtransportiert. Die verbleibende Fraktion hat eine Korngröße zwischen 20 – 80 mm. Der hergestellte Ersatzbrennstoff für Wirbelschichtanlagen hat einen Heizwert zwischen 10 – 13 MJ/kg. Besonders angereichert sind darin leichter zerkleinerbare Abfallanteile wie z.B. Holz, biogene Anteile und feuchte Materialien. Sie wird in eine Box entleert, von der sie entweder in ein Outputlager verbracht oder direkt in einen LKW verladen wird. Diese Fraktion wird zur Wirbelschichtanlage der RVL Lenzing gebracht.

- geringe Feuchte,
- geringer biogener Anteil,
- gute Aufbereitbarkeit,
- hoher Heizwert.

Bestimmende Teilfraktionen sind Kunststoffe, Papier, Karton, Holz, Metalle und mineralische Anteile (vgl. Abbildung 19).



Abbildung 19: Gemischter Gewerbeabfall im Inputlager

Die Zusammensetzung wurde durch mehrere Sortieranalysen (2003 – 2004) untersucht. Die folgende Abbildung 20 zeigt die typischen Korrelationen von Masseausbringen und Heizwert vom angenommenen Abfall im Vergleich zum kommunalen Siedlungsabfall. Die Beschreibung von gemischten Abfällen durch diese Kennlinien auf Basis von Sortieranalysen gibt Auskunft über die theoretische Aufbereitbarkeit von Abfallgemischen zu EBS [56]. Sie zeigen das theoretische Ausbringen von EBS aus dem Abfallgemisch in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Heizwertes (vgl. Anhang IV.A: Berechnung und Methode).

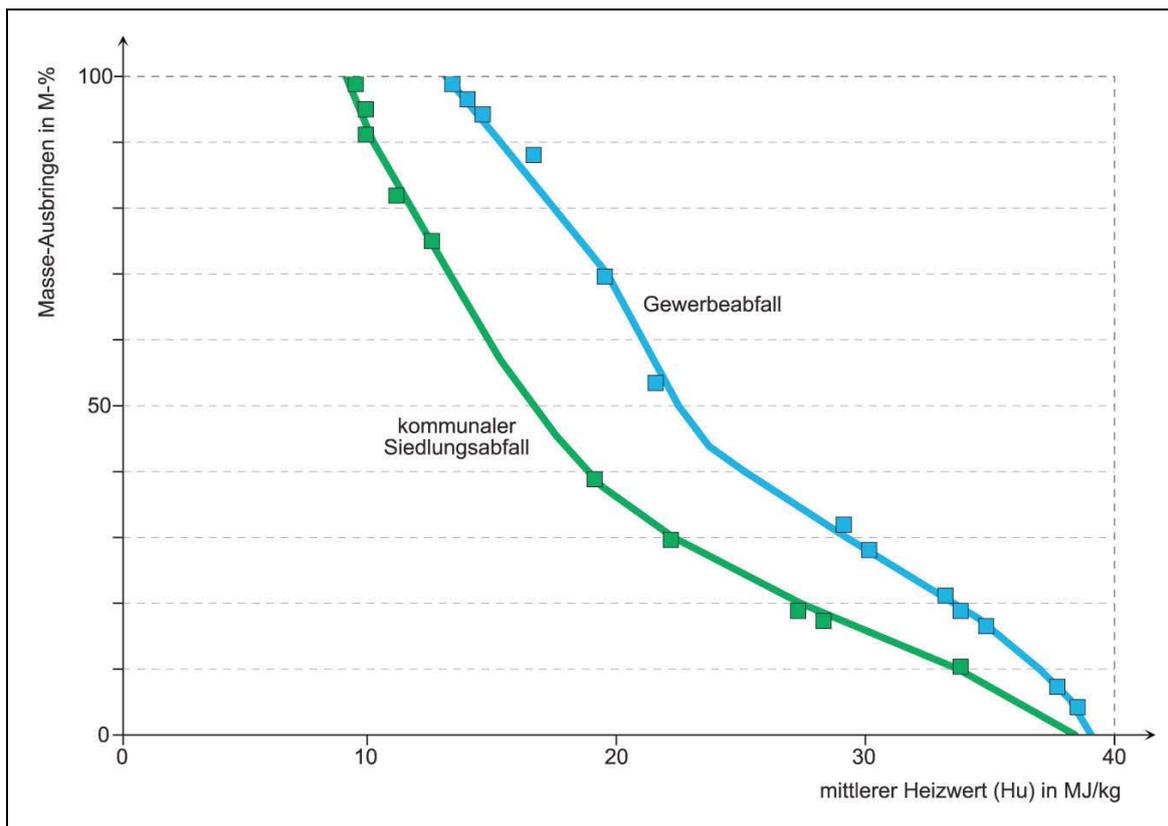


Abbildung 20: Charakterisierung des Inputmaterials der Splittinganlage (Zusammenhang von Masseausbringen und Heizwert)

5 Qualitäts- und Massenstromsimulation des HOTSDISC-Ersatzbrennstoffes

Im folgenden Kapitel wird die durchgeführte Qualitäts- und Massenstromsimulation des HOTDISC-EBS beschrieben und diskutiert.

5.1 Grundlagen zur Analyse von Stoffströmen

Die Entwicklung des HOTDISC-EBS wird durch die Methode der SFA (Stoffflussanalyse) begleitet, um Massenströme und Qualitäten zu prognostizieren. Grundsätzlich stellt diese Methode ein Werkzeug sowohl zur Beschreibung als auch zur Analyse beliebig komplizierter Systeme dar. Der große Vorteil der SFA liegt darin, dass sie die Vereinfachung der Komplexität des jeweiligen interessierenden Systems durch die Reduktion auf die für die Fragestellung relevanten Güter und Prozesse ermöglicht [11, S. 7]. Sie ist auch ein wichtiges Instrument bei der Leistungsbeurteilung in Bezug auf Abfallbehandlungsverfahren, da die SFA es ermöglicht, das Verhalten und den Verbleib von Stoffen zu beschreiben [57, S. 133]. Mit der Entwicklung dieser Methode hat sich auch eine zugehörige „Sprache“ entwickelt [58]. Diese ermöglicht es, die Ergebnisse der Stoffflussanalysen aus den unterschiedlichsten Bereichen aufgrund der universellen Einsetzbarkeit zu vergleichen und zu diskutieren.

Im Bereich der SFA sind vor allem Begriffe wie Stoffe, Güter und Materialien von Bedeutung. Diese sind Gegenstand von Umformung, Transport aber auch Lagerung, die in Form von Prozessen beschrieben werden können. Hierbei ist der Prozess selbst oft als Black Box definiert, da man sich die darin ablaufenden Vorgänge nicht ansieht. Wichtig ist allerdings die Unterscheidung zwischen Inputs und Outputs, also z.B. Materialflüsse in einen Prozess hinein und aus Prozessen heraus. All das kann man als eine Menge an Elementen und deren Beziehungen untereinander begreifen und unter dem Begriff des Systems subsumieren. Genau so wichtig wie die Definition des Systems ist jene der Systemgrenze, die die zeitliche und räumliche Abgrenzung des zu untersuchenden Systems darstellt [11, S. 8 f].

Charakteristisch für Prozesse ist die Transformation von Inputs zu Outputs. Diese lassen sich mit Hilfe sogenannter Transferkoeffizienten errechnen. In Summe muss sich hierbei immer eins ergeben, wobei auch allfällige Lagerveränderungen berücksichtigt werden müssen [11, S. 10].

Nachfolgende Abbildung stellt das methodische Vorgehen für die Erstellung einer SFA dar (vgl. Abbildung 21):

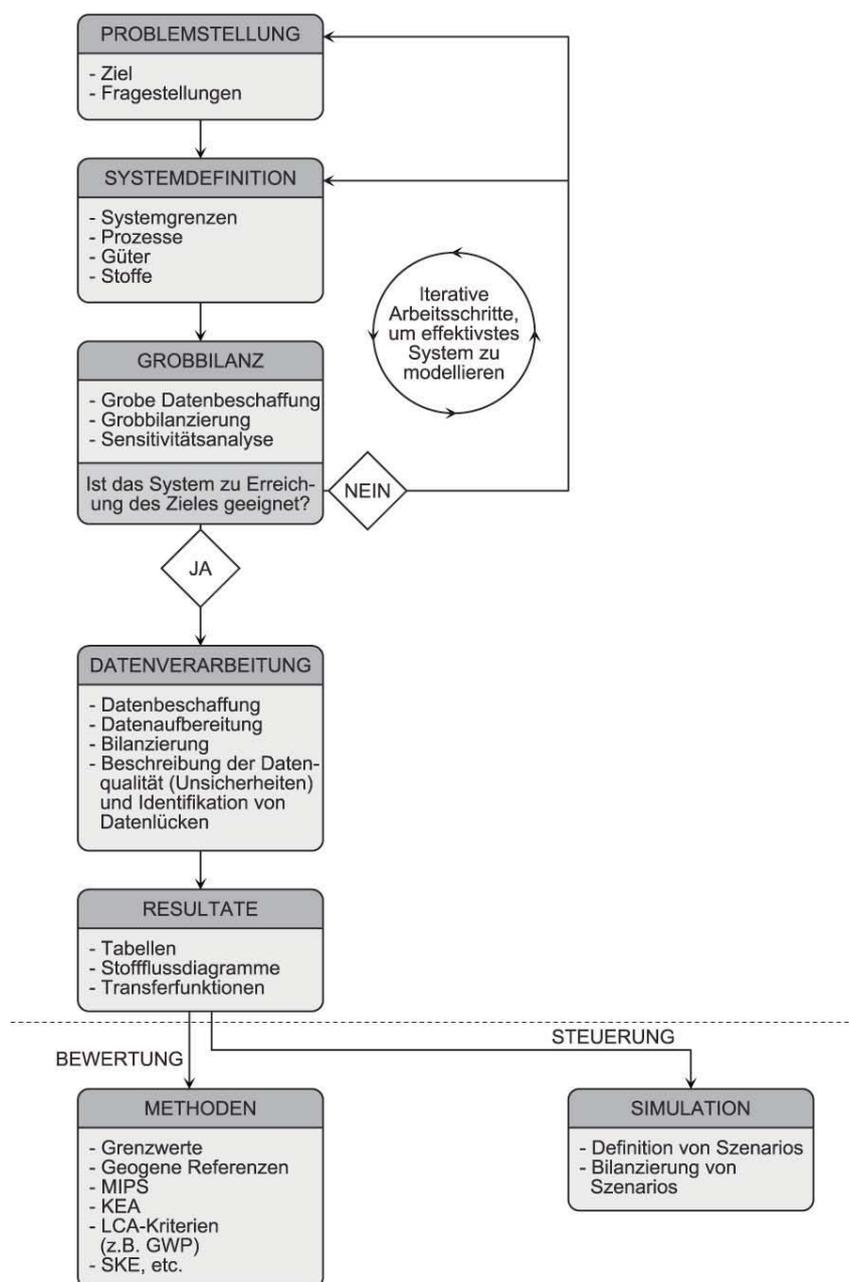


Abbildung 21: Methodisches Vorgehen für die Erstellung einer SFA

Quelle: [59, S. 4] [11, S. 12]

5.2 Beschreibung der Methode

Ein Excel-basiertes Berechnungsprogramm ermöglicht die Modellierung von mechanischen Abfallbehandlungsverfahren.¹⁾ Das Inputmaterial in die Anlage wird durch eine Sortieranalyse als Summe von Teilfraktionen beschrieben. Für jeden Verfahrensschritt der modellierten Anlage, der zu einer Massenstromteilung führt, werden für jede Teilfraktion Transferkoeffizien-

¹ Programm „Anlagenauslegungs- und Stoffstromanalyseprogramm“ der IG-IUT GmbH

ten definiert. Für jede Teilfraktion wird eine typische stoffliche Zusammensetzung angenommen. Da in jedem Verfahrensschritt, für jede Teilfraktion die Transferkoeffizienten definiert sind, lassen sich damit auch für das Gesamtsystem die Massenströme und die Stoffdaten der Outputfraktionen berechnen.

Ausgehend von der bestehenden Anlage werden zusätzliche (geplante) Verfahrensschritte modelliert und das ursprüngliche Endprodukt „EBS Wirbelschicht ofenfertig“ als Inputmaterial für die modellierten zusätzlichen Verfahrensschritte verwendet. Mithilfe des Programms werden so die Massenströme und Stoffdaten der neuen Outputströme berechnet (Prognose).

5.3 Beschreibung des Ausgangsmaterials

Basis für diese o.a. Qualitäts- und Massenstromsimulation ist die Beschreibung des Ausgangsmaterials. Ausgangsmaterial ist der ursprünglich in der Splittinganlage Wien produzierte Ersatzbrennstoff („EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm“), der durch die verfahrenstechnischen Änderungen für die energetische Verwertung in der HOTDISC angepasst werden soll (vgl. Kapitel 4). Es wird also nicht der Input der Anlage (Gewerbeabfall) einer Beschreibung unterzogen, sondern der bisher produzierte mittelkalorische EBS. Vorteil dabei ist, dass der zu beschreibende EBS eine im Vergleich zum Input/Gewerbeabfall höhere Gleichmäßigkeit aufweist. Die Beschreibung erfolgt durch eine Sortieranalyse (vgl. Anhang I).

5.3.1 Sortieranalyse

Im Vergleich zu üblichen Sortieranalysen von Abfällen gestaltet sich die Durchführung aufgrund der geringen Korngrößen als aufwändig. Als Hilfsmittel wurden ein Trommelsieb, ein Sortierband und Waagen sowie diverse Behälter eingesetzt.

5.3.1.1 Ablauf der Probennahme

Um einen möglichst großen Querschnitt über die „produzierte“ Fraktion zu erhalten, wurde vereinbart, dass mindestens 4 Stichproben (= Zeitpunkte) pro Probentahmetag gezogen werden.

Die regulären Stichproben wurden jeweils am Vormittag und am Nachmittag gezogen, wobei wiederum pro Halbtage jeweils zwei Zeitpunkte in einem Behälter zusammengelegt wurden.

Zwei Laborproben (jeweils 5 Zeitpunkte, Sortierung und chemische Analysen) und die 14 Proben für die Sortierung ergeben daher 38 Zeitpunkte in 8 Tagen, an denen Stichproben gezogen wurden.

Als Probenbehälter wurden 5-seitig dicht geschlossene Kunststoffbehälter („PALOX“) mit einem Inhalt von rund 0,5 m³ gewählt, welche mit dem vor Ort eingesetzten Stapler transportiert werden konnten. Diese Behälter konnten im Schnitt zu rund 95 % befüllt werden.

Daraus ergibt sich ein gesamter Probenumfang von rund 8 m³, aus welchem vor der Sortierung repräsentative Auszüge, je zwischen 100 und 200 Litern, genommen wurden (vgl. auch Kapitel 5.3.1.2).

Um einen vollständigen Querschnitt über die gesamte Outputfraktion (EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm) der Anlage zu erhalten, wurde folgende Art der Probennahmetechnik gewählt.

- Über die Anlagensteuerung wurde das Band über einer freien Stelle im Bunker positioniert, um ein vollständiges Unterfahren mit dem Stapler zu ermöglichen.
- Die Probenbehälter wurden mit dem Stapler aufgenommen und auf die Höhe der Unterkante des Abwurfbandes gehoben, um Windverfrachtungen zu verhindern.
- Dann wurde der Probenbehälter möglichst rasch unter dem gesamten Querschnitt des Bandes positioniert und über die Zeitdauer von rund 5 – 10 Sekunden belassen. Dies reichte aus, um die Behälter jeweils bis zur Hälfte zu befüllen.
- Der zweite Teil des Behälters wurde zu einem anderen Zeitpunkt befüllt, worauf sich eine Mischprobe aus zwei verschiedenen Zeitpunkten ergab.
- Die Probenbehälter wurden vom Bedienungspersonal der Anlage mit Datum und Zeitpunkt beschriftet. Damit kann eine Zuordnung zum Inputmaterial gegebenenfalls auch zu späteren Zeitpunkten noch nachvollzogen werden. Die Daten der Stichproben wurden auch bei den Analysenberichten vermerkt.
- Die Probenbehälter wurden bis zur Analyse unter Dach aufbewahrt, was eine übermäßige Austrocknung bzw. eine Beeinflussung durch Niederschlagswasser verhinderte.

Die Mischproben waren durch die Art der Probennahme bedingt geschichtet. Auf diesen Umstand wurde bei der Ziehung der repräsentativen Auszüge eingegangen (vgl. Kapitel 5.3.1.2).

5.3.1.2 Sortierablauf

Die eigentliche Analyse am Sortierort (vgl. Abbildung 22) erfolgte durch händische Sortierung („Klauben“), wobei folgende mobile Ausrüstung unterstützend zur Verfügung stand:

- Sortiertrommel mit 20 mm Lochung
- Sortierförderband

- elektronische Waagen
- diverse Behälter

Da, bedingt durch die geringe Korngröße < 80 mm, mit der beschriebenen händischen Sortierung aus Zeitgründen nicht der gesamte Probenumfang analysiert werden konnte, wurden die einzelnen Inhalte der 16 Probenbehälter jeweils durch „Viertel und Diagonalisieren“ verjüngt. Hierdurch wurde eine Verringerung der Probenmenge bei gleich bleibender Zusammensetzung erreicht. Es konnten somit je Probe zwischen 100 und 200 Litern analysiert werden, die einen repräsentativen Querschnitt über die gesamte Probe darstellen. Nach der Viertelung der Probe wurde diese durch das Trommelsieb bei 20 mm abgesiebt, um die nach der Anlagensiebung im Material verbliebenen Feinmaterialien abzuscheiden. Die Beschickung des Siebes erfolgte per Handwerkzeug. Hierbei wurde besonders auf eine vollständige Aufgabe (alle Fein- und Grobanteile) des geviertelten Materials geachtet. Das Überkorn wurde händisch („Klauben“) auf dem Sortierförderband in die einzelnen Sortierfraktionen getrennt. Geringere Feinanteile („Anhaftungen“) verblieben auf dem Sortierband. Diese wurden nochmals bei 20 mm gesiebt. Damit wurde eine möglichst „saubere“ Überkornfraktion gewährleistet. Das daraus verbleibende Überkorn wurde nochmals sortiert. Nach der Sortierung wurden die Masse (mit elektronischer Laborwaage) und das Volumen (mit Standardgefäßen) der ausgeklaubten und abgesiebten Fraktionen bestimmt. Die Sortierung erfolgte nach einer definierten Fraktionsliste (vgl. Anhang I.A). Aus diesen Daten wurde später die Zusammensetzung, nach Gewicht und Volumen, für jede Stichprobe errechnet.

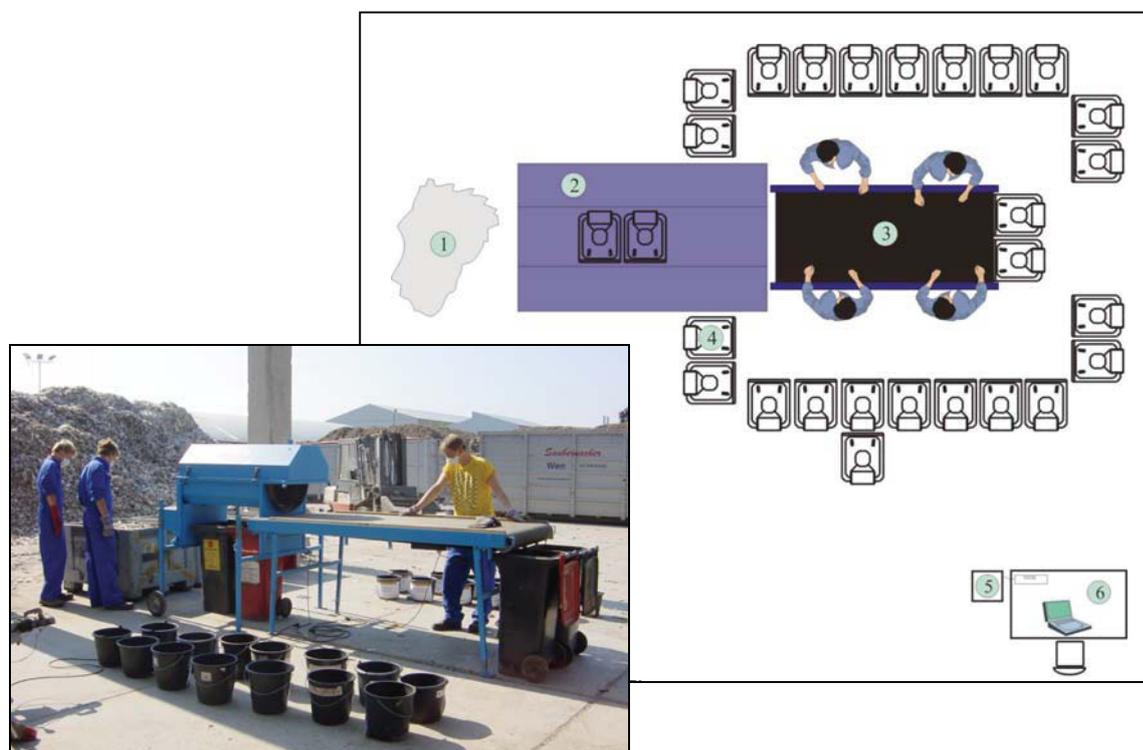


Abbildung 22: Trommelsieb und Sortierband mit den Probenbehältern im Hintergrund und den Fraktionsbehältern am Boden

5.3.1.3 Ergebnisse

16 Proben wurden der Sortieranalyse unterzogen. Um eine ausreichende Repräsentanz zu erreichen, musste eine Gesamtmasse von 375,2 kg sortiert werden. Die tabellarischen Auswertungen der einzelnen Proben befinden sich im Anhang (vgl. Anhang I.D). Die nachfolgende Abbildung 23 zeigt das Ergebnis der Sortieranalyse nach Fraktionen (gewichtete Mittelwerte).

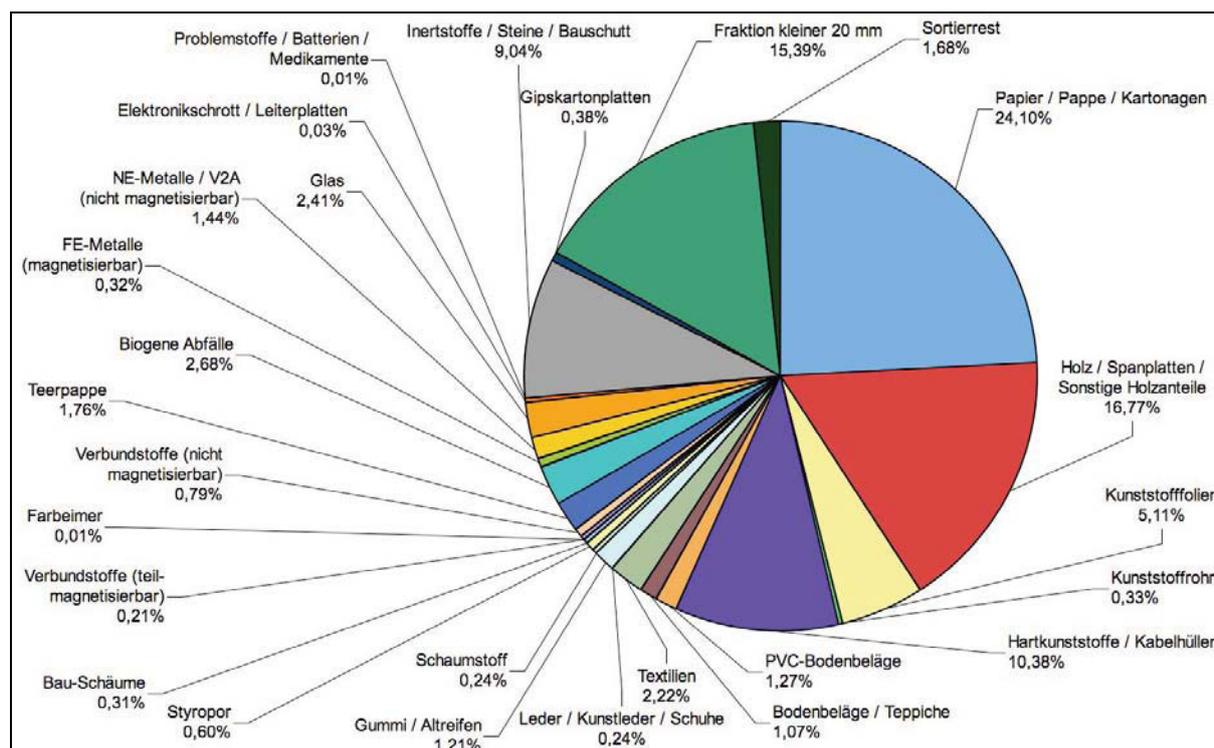


Abbildung 23: Anteile der verschiedenen Fraktionen am Inputmaterial „EBS Wirbelschicht offenfertig 20 – 80 mm“

Das Ergebnis der Sortieranalyse zeigt, dass einige wenige Fraktionen dominieren (d.h. einen Anteil über 5 M-% aufweisen). Diese sind wie folgt:

- Papier/Pappe/Kartonagen (24,1 M-%),
- Holz/Spanplatten/Sonstige Holzanteile (16,77 M-%),
- Hartkunststoffe (10,38 M-%),
- Inertstoffe/Steine/Bauschutt (9,04 M-%),
- Kunststofffolien (5,11 M-%),
- sowie die Fraktion kleiner 20 mm (15,39 M-%).

Diese sechs Fraktionen umfassen 80,79 M-% der Gesamtheit. Auffällig ist hierbei die Dominanz von brennbaren Fraktionen biogener Herkunft (Papier/Pappe/Kartonagen und Holz/Spanplatten/Sonstige Holzanteile) mit insgesamt 40,87 M-%, während die Kunststofffraktionen (Hartkunststoffe und Kunststofffolien) lediglich 15,49 M-% betragen. Das Vorherrschen der papier- und holzhältigen Anteile ist dadurch erklärbar, dass durch die vorgeschaltete Windsichtung leicht flugfähige und daher die kunststoffreiche Leichtfraktion abgetrennt wurde und sich dadurch die schwereren und überwiegend biogenstämmigen Anteile im „Ersatzbrennstoff Wirbelschicht offenfertig“ anreichern (vgl. Kapitel 4.3).

Die einzelnen Proben zeigen eine deutliche Streuung in der Zusammensetzung. Diese ist abhängig von der aktuellen Zusammensetzung des aufgegebenen Inputs in die Anlage (Gewerbeabfall). In der Lagerbox erfolgt eine Mischung und Vergleichmäßigung des EBS, erfahrungsgemäß zeigt dieser bei der Auslieferung ein relativ gleichmäßiges Erscheinungsbild. Der Mittelwert der Einzelproben beschreibt daher die durchschnittliche Zusammensetzung des EBS hinreichend.

Für die Streuung wurden die Minimal- und Maximalwerte (M-%) mit dem arithmetischen Mittelwert verglichen. Diese sind in Abbildung 24 dargestellt.

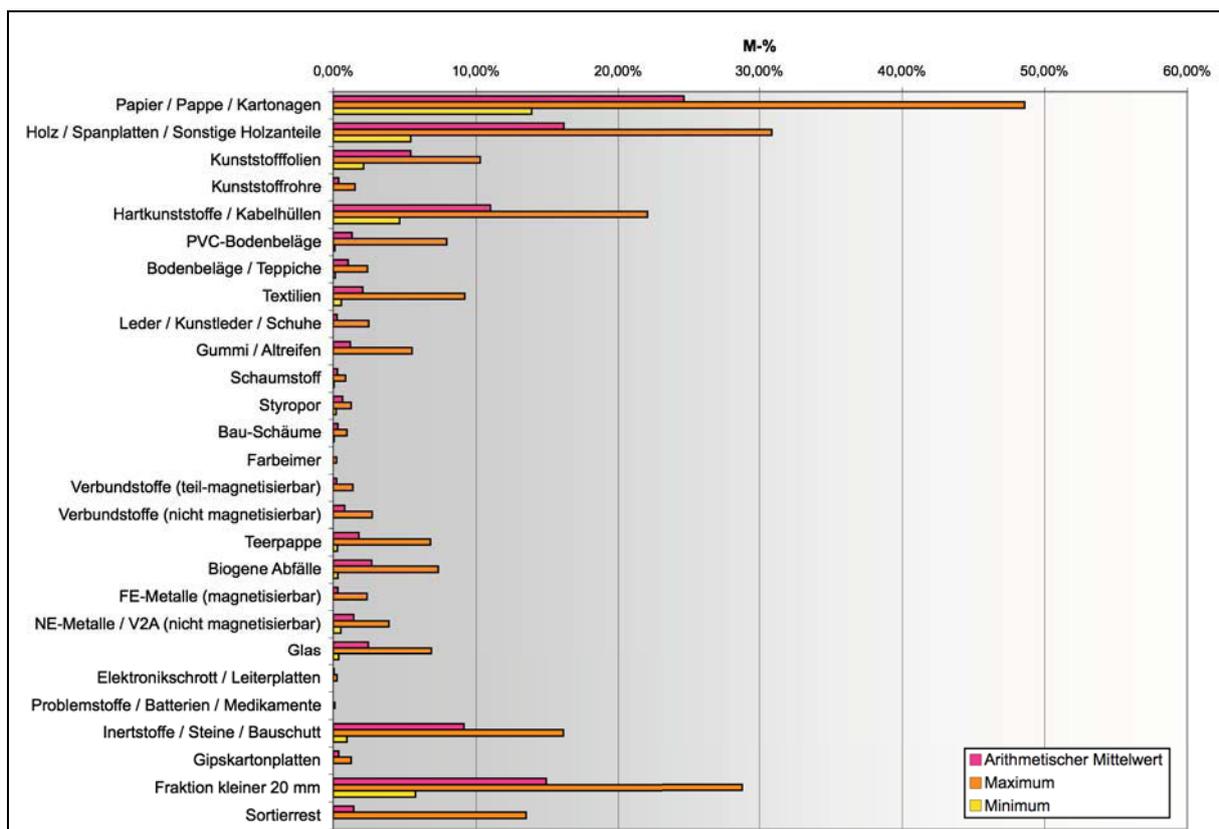


Abbildung 24: Streuung der Zusammensetzungen (Sortierfraktionen) im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert

5.3.2 Chemische Zusammensetzung

Mit dem Anlagenauslegungs- und Stoffstromanalysenprogramm ist die Zusammensetzung des EBS „Wirbelschicht ofenfertig“ berechnet und mit den Werten der Laboranalysen verglichen worden. Die Berechnung erfolgte zeitlich nach der chemischen Analyse um die Eignung des Programms zu testen. Es erfolgte somit keine Prognose, sondern eine Verifikation. Basis der Berechnung war die Annahme einer durchschnittlichen Zusammensetzung des Gewebeabfalls, basierend auf Sortieranalysen aus 2003 und 2004. Zum damaligen Zeitpunkt wurden nur ausgewählte Parameter berechnet und mit den gemessenen Werten verglichen.

In der nachstehenden Tabelle 3 werden die Ergebnisse der Laboranalysen mit den berechneten Werten verglichen.

Tabelle 3: Ergebnisse der Laboruntersuchungen

Fraktion	Laboranalyse		Berechnung Mittelwert
	Wirbelschichtfraktion ≤ 80 mm (Pr.-Nr. 0860-04 vom 11. 8.2004)	Wirbelschichtfraktion ≤ 80 mm (Pr.-Nr. 0857-04 vom 12. 8.2004)	
WG [%]	13,11	21,6	16,44
TS [%]	86,89	78,4	83,56
Hu [kJ/kg]	12.400	10.400	14.400
Cl [mg/kg TS]	6.510	5.000	6.950
Cd [mg/kg TS]	0,8	0,8	1,60
Hg [mg/kg TS]	< 0,6	< 0,6	0,52
As [mg/kg TS]	3,2	3,8	3,23
Pb [mg/kg TS]	63	40	207
Cr [mg/kg TS]	60	52	60
Ni [mg/kg TS]	19	20	21
Sn [mg/kg TS]	5,6	6	6
S [mg/kg TS]	5.800	6.100	6.100

Die berechneten Werte zeigen überwiegend gute Übereinstimmung mit den im Labor ermittelten Werten. Eine deutliche Abweichung ist bei Blei erkennbar, geringe Abweichungen treten bei den Parametern Hu und Cd auf.

Um den Einfluss von inerten bzw. organischen Anhaftungen auf die gewonnenen Brennstofffraktionen festzustellen, wurde zusätzlich zu den chemischen Analysen auch ein Auswasch-

versuch durchgeführt. Dieser ergab, dass deutliche Anhaftungen von Feianteilen (5,03 M-% bzw. 8,97 M-%) auf den stückigen Anteilen des EBS feststellbar sind (vgl. Anhang I.E). Es wird vermutet, dass es sich hierbei überwiegend um mineralische Materialien handelt. Der Anteil der Anhaftungen wird einerseits unterschätzt und ihre mindernde Auswirkung auf den Heizwert einzelner Fraktionen nicht berücksichtigt. Es besteht zudem die Vermutung, dass die Nichtberücksichtigung von Anhaftungen in den Stoffdaten der einzelnen Teilfraktionen andererseits zu einer tendenziellen Überschätzung des Heizwertes anderer Fraktionen führt. Die deutliche Überschätzung des Heizwertes im verwendeten Berechnungsprogramm könnte dadurch teilweise erklärt werden.

5.4 Qualitäts- und Massenstromsimulation

Die Berechnung der Massenströme und der chemischen Zusammensetzungen dient u.a. der Erhöhung der Planungssicherheit von Anlagen. Ausgehend von der festgestellten Zusammensetzung des Ausgangsmaterials (vgl. Kapitel 5.3.1) und der durch konventionelle verfahrenstechnische Maßnahmen festgelegten zusätzlichen Verfahrensschritte (vgl. Abbildung 25 und Abbildung 26) erfolgt die Berechnung von zu erwartenden Qualitäten und Massenströmen für den Output. Die folgende Darstellung erfolgt auszugsweise mit Schwerpunkt auf den HOTDISC-EBS. Die gesamte Simulation findet sich im Anhang (vgl. Anhang II).

5.4.1 Inputdefinition

Die Ergebnisse der Sortieranalyse des Ausgangsmaterials (EBS-Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm) sind in folgender Tabelle 4 nochmals komprimiert dargestellt. Hierin finden sich all jene Fraktionen, deren gewichteter Mittelwert > 2 M-% beträgt und die damit bereits in Summe 88,1 M-% des gesamten Ausgangsmaterials ausmachen. Die vollständige Tabelle mit allen Fraktionen des Ausgangsmaterials befindet sich im Anhang (vgl. Anhang II.B).

Tabelle 4: Ergebnisse der Sortieranalyse für „EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm“

Fraktion		Mittelwert [M-%]
Nr.	Bezeichnung	gewichtet
1	Papier / Pappe / Kartonagen	24,10
2	Holz / Spanplatten / Sonstige Holzanteile	16,77
26	Fraktion kleiner 20 mm	15,39
5	Hartkunststoffe / Kabelhüllen	10,38
24	Inertstoffe / Steine / Bauschutt	9,04
3	Kunststofffolien	5,11
18	Biogene Abfälle	2,68

21	Glas	2,41
8	Textilien	2,22
...	Restliche Fraktionen	11,90
Gesamt		100,00

Für jede der insgesamt 27 Teilfraktionen wird eine typische stoffliche Zusammensetzung angenommen (vgl. Tabelle 5). Die Daten der stofflichen Zusammensetzung der Teilfraktionen stammen aus Erfahrungswerten, Literaturdaten und Eigenanalysen. Die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials (Mischung als Summe der Teilfraktionen) lässt sich dann daraus als gewichtete Summe der Gehalte der einzelnen Teilfraktionen errechnen.

5.4.2 Ergebnisse der Qualitäts- und Massenstromprognose

In der folgenden Abbildung 25 sind die zusätzlichen modellierten Verfahrensschritte und die berechneten Massenströme für die neuen Outputfraktionen dargestellt.

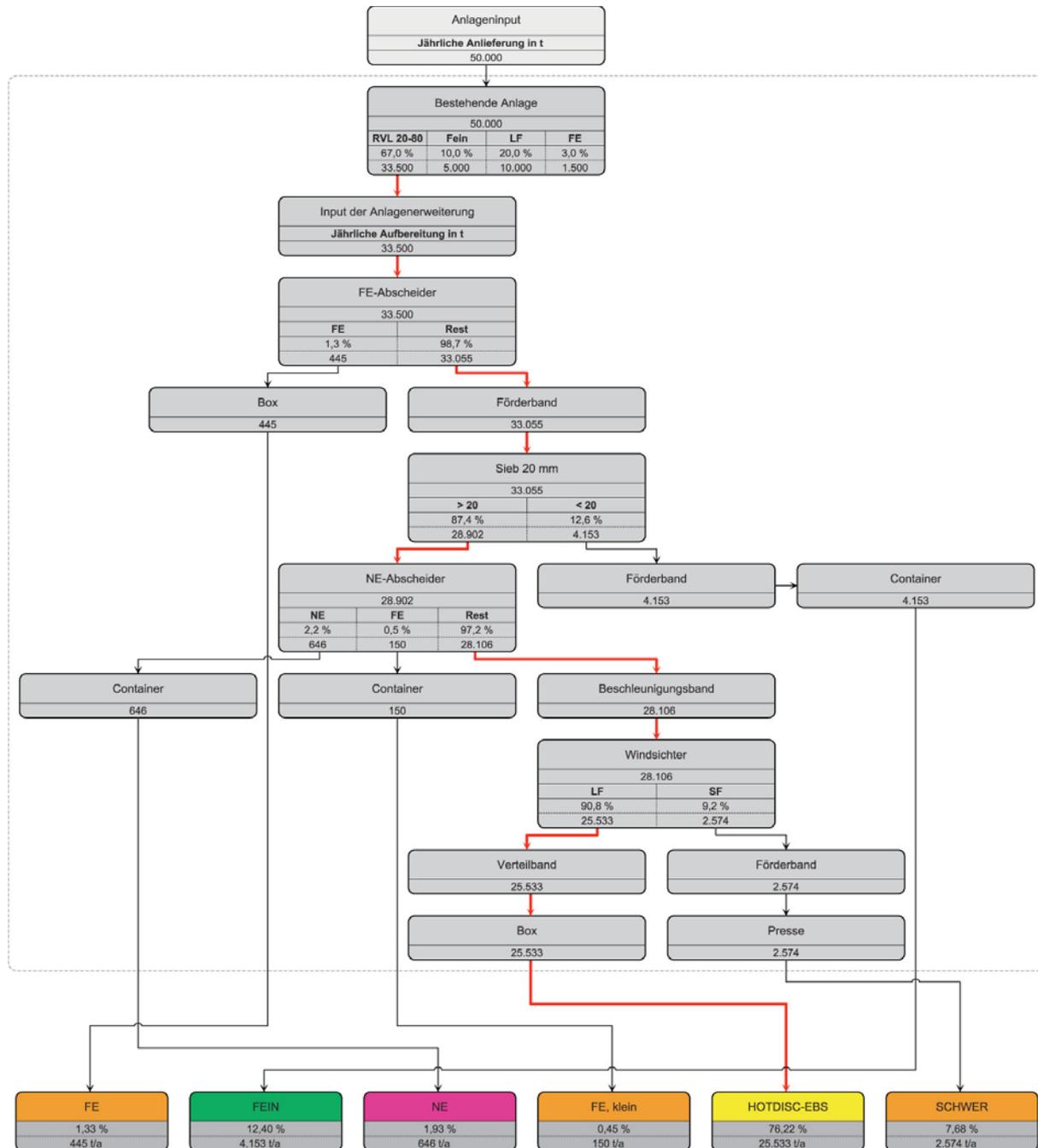


Abbildung 25: Zusätzlich Verfahrensschritte und Massenströme für die neuen Outputfraktionen der Anlagenerweiterung

Ausgehend von einer angenommenen Inputmenge von 50.000 t/a und den Verfahrensschritten der bestehenden Splittanlage, werden die modellierten zusätzlichen Verfahrensschritte einer erweiterten Anlage dargestellt (vgl. Abbildung 25). Jeder Anlagenteil innerhalb der Systemgrenze wird durch einen Block beschrieben. Für Anlagenteile, in denen keine Mas-

senstromteilung erfolgt, werden nur die Bezeichnung und die Masse in t/a angegeben. Für Verfahrensschritte, die zu einer Massenstromteilung führen werden folgende Daten angegeben:

- Bezeichnung des Verfahrensschrittes oder Anlagenteiles,
- Inputmenge in t/a,
- Bezeichnung der Outputfraktionen,
- Massenanteil der Outputfraktion in %,
- Masse der Outputfraktionen in t/a.

Der Tabelle 6 sind Massen, Volumen und Durchsatz der einzelnen Outputfraktionen zu entnehmen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Daten der Outputfraktionen für die Anlagenerweiterung

Gesamtübersicht Output								
Standardvariante								
Output-Fraktion	Kurzbezeichnung	Nr.	Daten Fraktion					
			Anteil	Masse	Volumen	Durchsatz		Schüttgewicht
			nach Masse			Masse	Volumen	
			[M-%]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Eisenmetalle aus dem Eisenabscheider	FE	Out 1	1,33	444,8	3.650,1	0,13	1,10	0,122 ¹⁾
Feinfraktion aus dem Sieb	FEIN	Out 2	12,40	4.153,5	21.773,2	1,25	6,56	0,191
Nichteisenmetalle aus dem NE-Abscheider	NE	Out 3	1,93	645,8	4.302,5	0,19	1,30	0,150
Eisenmetalle aus dem NE-Abscheider	FE-klein	Out 4	0,45	149,6	1.625,8	0,05	0,49	0,092 ¹⁾
Schwerfraktion aus dem Windsichter	SCHWER	Out 5	7,68	2.573,7	7.108,9	0,78	2,14	0,362
HOTDISC-EBS	LEICHT	Out 6	76,22	25.532,6	200.997,6	7,69	60,54	0,127
Summe			100,0	33.500,0	239.458,1	10,09	72,13	-

Für alle Outputfraktionen wurde auch die stoffliche Zusammensetzung berechnet. Von besonderem Interesse ist die berechnete Zusammensetzung des HOTDISC-EBS. Die Zusammensetzung nach Teilfraktionen ist in nachstehender Tabelle 7 dargestellt.

¹⁾ Das niedrige Schüttgewicht ist durch den hohen Anteil an flächigen Kunststoffteilen (Folien) begründet, die den Metallteilen anhaften und durch den Magnetabscheider mitgezogen werden.

Tabelle 7: Berechnete Stoffgruppenzusammensetzung des HOTDISC-EBS

HOTDISC-EBS (Leichtfraktion aus dem Windsichter)								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	Leichtfraktion Windsichter						
		Anteil		Masse	Volumen	Durchsatz		Schüttgewicht
		nach Masse feucht	nach Masse TS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	29,76	22,32	7.599,66	74.371,4	2,29	22,40	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	21,35	17,99	5.450,04	25.260,0	1,64	7,61	0,216
Kunststofffolien	3	6,12	5,82	1.562,88	32.657,4	0,47	9,84	0,048
Kunststoffrohre	4	0,43	0,43	109,64	435,8	0,03	0,13	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	13,08	12,99	3.339,38	24.595,7	1,01	7,41	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	1,63	1,60	415,71	1.792,4	0,13	0,54	0,232
Bodenbeläge / Teppiche	7	1,38	1,27	352,28	2.388,8	0,11	0,72	0,147
Textilien	8	2,71	2,22	692,62	7.595,8	0,21	2,29	0,091
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,31	0,28	78,31	582,8	0,02	0,18	0,134
Gummi / Altreifen	10	1,51	1,49	386,60	1.675,8	0,12	0,50	0,231
Schaumstoff	11	0,31	0,28	79,98	1.979,3	0,02	0,60	0,040
Styropor	12	0,77	0,76	197,75	8.190,0	0,06	2,47	0,024
Bau-Schäume	13	0,40	0,39	101,85	2.688,0	0,03	0,81	0,038
Farbeimer	14	0,02	0,02	4,29	21,0	0,00	0,01	0,204
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	0,14	0,14	35,97	87,1	0,01	0,03	0,413
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,71	0,68	181,67	1.043,7	0,05	0,31	0,174
Teerpappe	17	2,26	2,24	576,80	1.806,0	0,17	0,54	0,319
Biogene Abfälle	18	3,45	1,73	881,48	2.929,5	0,27	0,88	0,301
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,00	0,00	1,05	2,3	0,00	0,00	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	0,14	0,14	35,34	171,7	0,01	0,05	0,206
Glas	21	1,58	1,50	403,48	482,1	0,12	0,15	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,04	0,04	10,16	25,5	0,00	0,01	0,398
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,01	0,01	3,64	25,7	0,00	0,01	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	5,93	5,46	1.514,29	1.792,0	0,46	0,54	0,845
Gipskartonplatten	25	0,15	0,15	38,46	144,6	0,01	0,04	0,266
Fraktion kleiner 20 mm	26	3,84	2,88	979,88	5.130,0	0,30	1,55	0,191
Sortierrest	27	1,96	1,84	499,36	3.123,3	0,15	0,94	0,160
Summe		100,0	84,7	25.532,58	200.997,6	7,69	60,54	0,127

Die berechnete stoffliche Zusammensetzung des HOTDISC-EBS ist in der folgenden Tabelle 8 dargestellt. Die berechnete stoffliche Zusammensetzung der anderen Outputfraktionen ist im Anhang beschrieben (vgl. Anhang II.F).

Tabelle 8: Berechnete stoffliche (physikalisch-chemische) Zusammensetzung des HOTDISC-EBS

Stoffdaten und Schadstoffgehalte HOTDISC-EBS			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	17.958
Wassergehalt	WG	[M-%]	15,3
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	19,9
Glühverlust	GV	[M-% TS]	63,6
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	35,7
Arsen	As	[mg/kg TS]	2,2
Blei	Pb	[mg/kg TS]	62,7
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	2,1
Chlor	Cl	[mg/kg TS]	8.024,8
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	42,4
Fluor	F	[mg/kg TS]	391,7
Kobalt	Co	[mg/kg TS]	3,7
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	271,9
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	83,1
Nickel	Ni	[mg/kg TS]	21,4
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,4
Schwefel	S	[mg/kg TS]	4.800,0
Selen	Se	[mg/kg TS]	0,1
Tellur	Te	[mg/kg TS]	1,5
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,4
Vanadium	V	[mg/kg TS]	4,6
Zink	Zn	[mg/kg TS]	596,8
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	3,6

Die berechnete stoffliche Zusammensetzung der anderen Outputfraktionen ist im Anhang beschrieben (vgl. Anhang II.F).

5.5 Anlagenkonfigurierung und Qualitätssicherung

Auf Basis der Qualitäts- und Massenstromsimulation erfolgte die konkrete Umsetzung der Anlagenänderungen parallel zum laufenden Betrieb.

5.5.1 Prozesstechnische Änderungen

Um die Anforderungen für den Ersatzbrennstoff der HOTDISC zu erreichen, mussten prozesstechnische Änderungen der bestehenden Splittinganlage geplant und letztendlich auch durchgeführt werden. Folgende Verfahrensschritte wurden im Rahmen der Anlagenerweiterung implementiert:

- *Siebung*: Abtrennung von niederkalorischer Feinfraktion.
- *FE-Scheider*: Abtrennung von magnetischen Metallen zur Verringerung des Störstoffanteiles, Reduzierung von Schwermetallfrachten und Gewinnung einer stofflich verwertbaren Eisen-Schrott-Fraktion.
- *NE-Scheider*: Abtrennung von nichtmagnetischen Metallen zur Verringerung des Störstoffanteiles, Reduzierung von Schwermetallfrachten und Gewinnung einer stofflich verwertbaren NE-Schrott-Fraktion.
- *Windsichter*: Abtrennung von Störstoffen (Massivteilen), Erhöhung des Heizwertes, Gewinnung einer günstiger verwertbaren inerten Fraktion.

Jedem Verfahrensschritt, der zu einer Massenstromteilung führt, werden für jede Teilfraktion spezifische Transferkoeffizienten zugeordnet (vgl. Anhang II.G).

Besondere Berücksichtigung im Planungsprozess fanden die folgenden Anforderungen:

- **Nachschaleten der zusätzlichen Verfahrensschritte**

Die zusätzlichen Verfahrensschritte sollten den bestehenden Verfahrensschritten nachgeschaltet werden, da durch die Änderungen die Grundkonzeption der bestehenden Anlage selbst nicht verändert werden sollte. Insbesondere durfte die laufende Produktion nicht zu lange unterbrochen werden.

- **Flexibilität**

Spezifikationen für die Qualität des HOTDISC-EBS wurden zwar definiert, die konkreten Anforderungen konnten aber erst im Versuchsbetrieb selbst festgelegt werden. Anforderungen an den HOTDISC-EBS sollten daher flexibel geändert werden können.

- **Erweiterbarkeit**

Zusätzliche Verfahrensschritte, zur weiteren Qualitätsverbesserung des HOTDISC-EBS, mussten möglich sein.

- **Leistungsfähigkeit**

Es sollte bereits eine Anlagendimensionierung für höhere Durchsätze (Kapazitätserweiterung) erfolgen.

- **Einfachheit**

Die verfahrenstechnischen Änderungen und die dazugehörige Maschinenteknik sollten möglichst einfach sein.

Mehrere verfahrenstechnische Varianten wurden erarbeitet und auf ihre Umsetzbarkeit sowie Eignung geprüft. Dabei wurden folgende Kriterien angesetzt: Kosten, einfache Linienführung, Integrationsmöglichkeit in bestehende Anlage, Erweiterbarkeit, Massenausbringen an EBS, Störstofftoleranz.

5.5.2 Verfahrenstechnische Umsetzung

Ziele der zusätzlich integrierten Verfahrensschritte sind die Verbesserung der Störstoffabtrennung, die Erhöhung des Heizwertes und die Reduktion von Metallfrachten, um letztlich einen optimierten EBS für das HOTDISC-Verfahren zu erzeugen. Die alternative Belieferung von Wirbelschichtanlagen mit dem Produkt der Splittinganlage soll jedoch weiterhin möglich sein.

Die Anlagenerweiterung sieht eine Nachaufbereitung der Fraktion 20 – 80 mm vor. Der Stoffstrom wird über einen weiteren Magnetabscheider, einen Nichteisenabscheider (Wirbelstromscheider) und eine Schwer/Leicht-Trennung geführt (vgl. Anhang IX). Die verfahrenstechnischen Änderungen sind im Verfahrensfließbild der Abbildung 26 dargestellt. Im Vergleich zum Verfahrensfließbild der Gewerbeabfall-Splittinganlage Wien vor Umbau (vgl. Abbildung 18) wird die Fraktion ≤ 80 mm nach dem bestehenden Flachsieb 20 mm über die neu installierten Magnetabscheider, NE-Abscheider sowie Störstoff-Abscheider geführt.

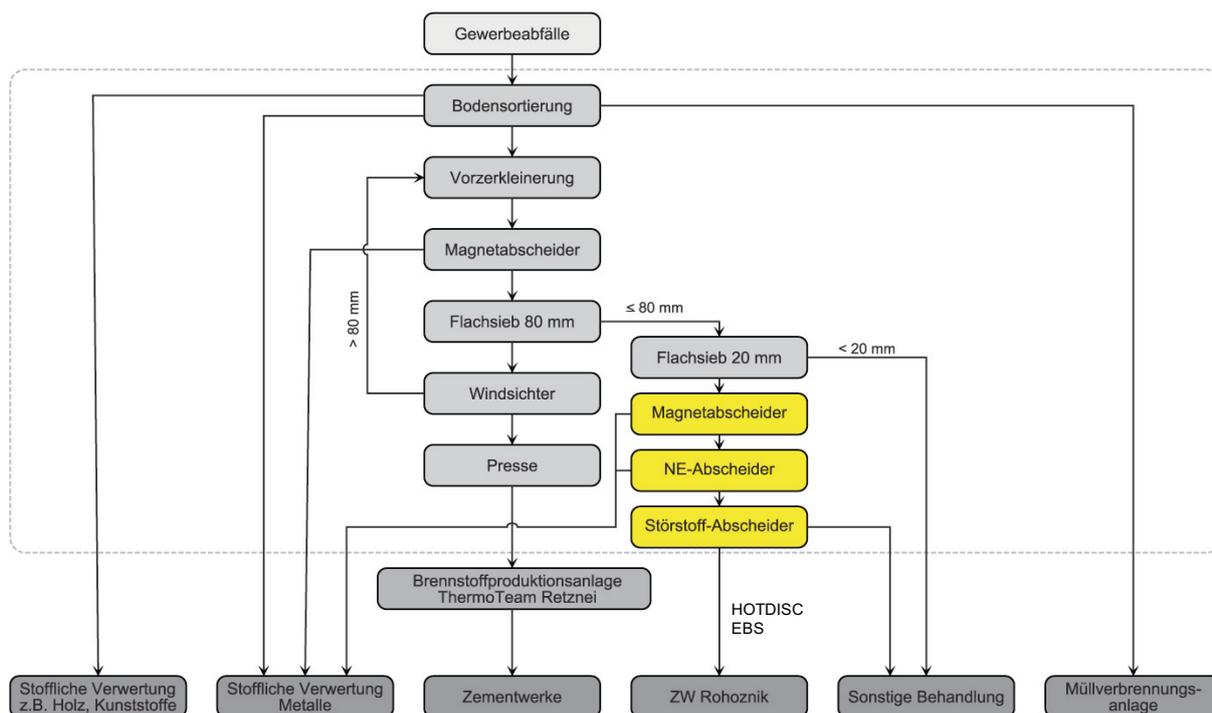


Abbildung 26: Verfahrenstechnische Änderungen zur Anlagenerweiterung

Die Schwer/Leicht-Trennung (vgl. Abbildung 27) erfolgt durch einen speziellen Windsichter (= Störstoff-Abscheider). Dieses Verfahren wurde erstmals in der EBS-Produktionsanlage ThermoTeam in Retznei eingesetzt. Durch besondere Luftführung und Bürsten können gezielt schwere, dreidimensionale Körner abgetrennt werden. Es sind dies üblicherweise Steine oder metallhaltige Teile, die durch die verschiedenen bisher installierten Metallabscheider nicht abgetrennt wurden.



Abbildung 27: Störstoffe aus Schwer/Leicht-Trennung (1), Störstoffe im Detail (2), Windsichter (Schwer/Leicht-Trennung) zur Störstoffabtrennung (3)

Zusätzlich wird die bestehende Absiebung der Feinfraktion verbessert. Eine weitere Siebstufe, wie in der Simulation angenommen, wurde aus Platzgründen nicht realisiert. Sie wird in der Splittinganlage durch eine Optimierung der bestehenden Siebstufe ersetzt.

Der Heizwert kann durch eine gezielte Verringerung der Leichtfraktionsabtrennung im ersten Windsichter gesteigert werden. Gleichzeitig wird dadurch das Massenausbringen an

HOTDISC-EBS erhöht. Der Extremfall, d.h. das Ausschalten des ersten Windsichters, erhöht die Produktionsmenge an HOTDISC-EBS um bis zu 50 %.

Die Steuerung der maximalen Korngröße erfolgt durch das erste Sieb. Die aktuelle Sieblochung beträgt 80 mm (Quadratloch). Sieblochungen bis 120 mm sind durch Austausch von Siebeinsätzen kurzfristig veränderbar. Bei Vergrößerung der Sieblochung ist eine deutliche Erhöhung der Durchsatzleistung und eine geringe Erhöhung des Heizwertes zu erwarten.

Die folgende Abbildung 28 zeigt die maschinentechnischen Änderungen und Ergänzungen in der erweiterten Splittinganlage.

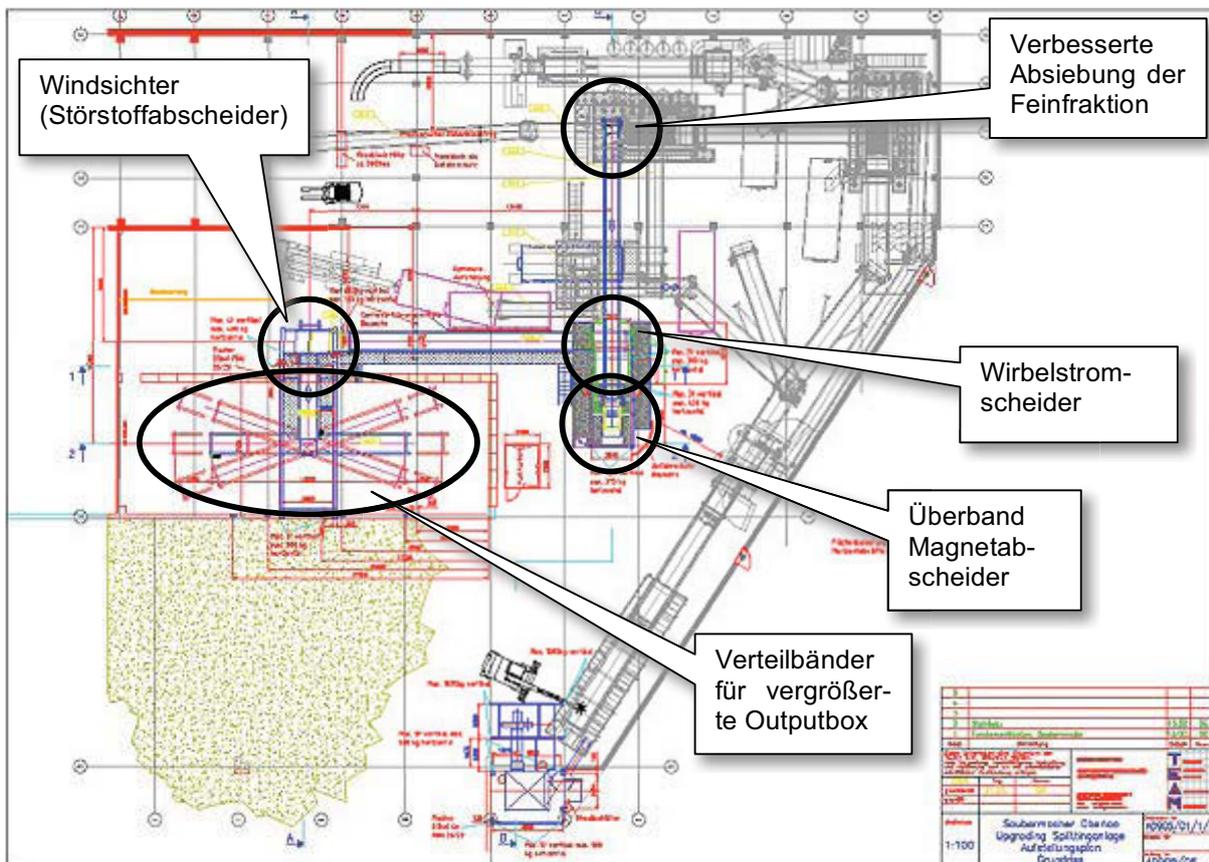


Abbildung 28: Maschinentechnische Änderungen und Ergänzungen in der erweiterten Splittinganlage

5.5.3 Bautechnische Änderungen

Bei der Anlagenerweiterung wurde ein um das dreifache vergrößerter Inputbereich vorgesehen. Dies ist notwendig, um bei einem Zweischichtbetrieb genügend Abfälle vorrätig zu haben. Zusätzlich können dadurch bei der Bodensortierung aus den Abfällen leichter Stör- und Wertstoffe entnommen werden.

Es wurde auch ein größerer Outputbereich geplant, welcher die aufbereiteten Abfälle von ca. zwei Wochen zwischenlagern kann. Dies ist vor allem bei Anlagenstillständen und Revisionsarbeiten bei den Verwertern von großem Vorteil.

Nachstehend wird zum besseren Verständnis der Gesamtplan der Splittinganlage Wien mit den einzelnen Bereichen dargestellt (vgl. Abbildung 29).

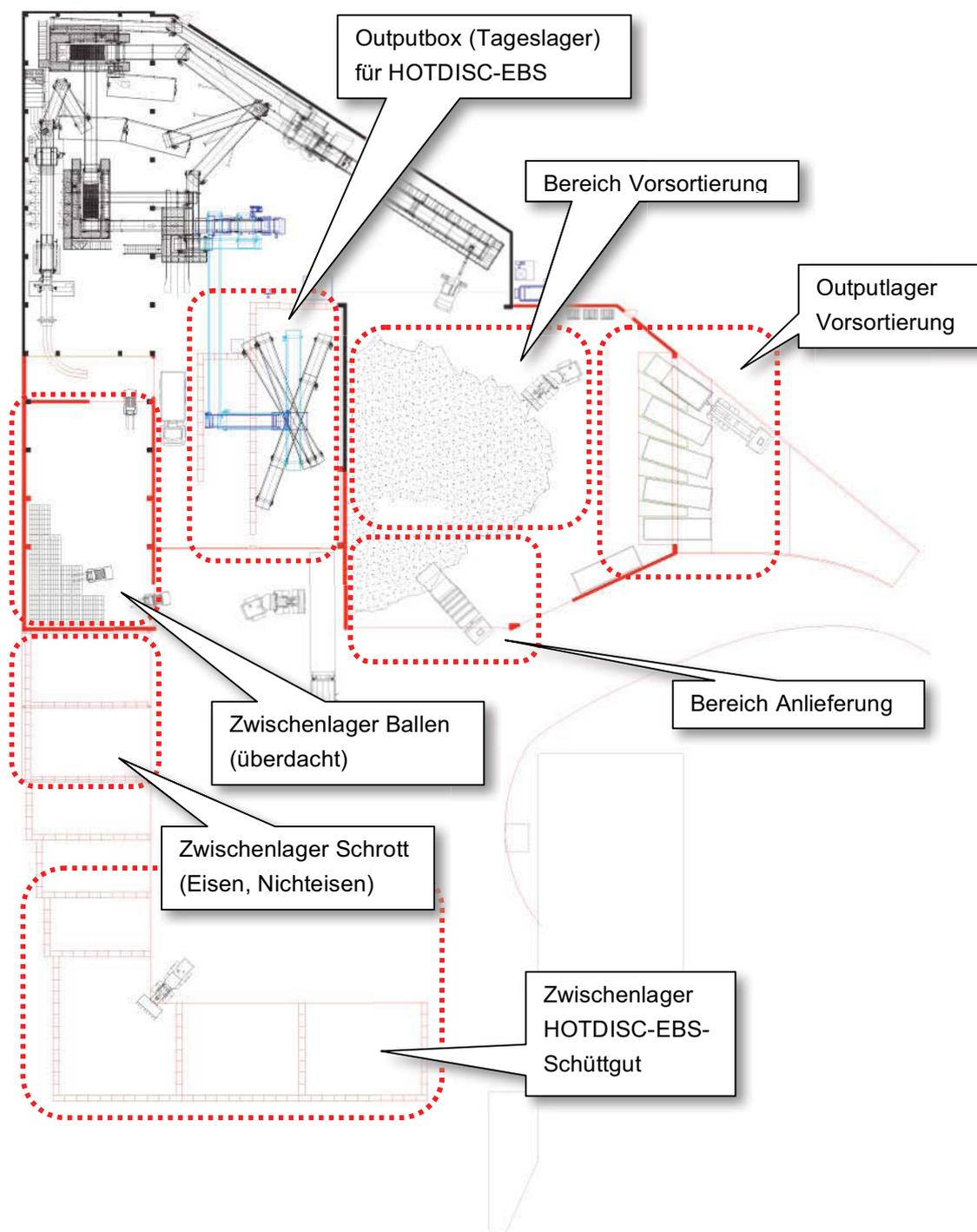


Abbildung 29: Erweiterte Splittinganlage Wien und deren einzelne Bereiche

5.5.4 Logistische Umsetzung

Die Steigerung der Produktionsmenge und die geplante weitere Erhöhung auf die genehmigte maximale Kapazität von 90.000 t/a sind nur durch eine Verbesserung der Logistik erreichbar. Folgende Änderungen und Anpassungen wurden vorgenommen:

- **Anlieferlogistik**

Verstärkte Anlieferung mit Walkingfloor-LKW, insbesondere von Umladestationen und Großanlieferern. Die geänderte Zufahrt erleichtert das Entladen. Durch die Platzierung des angelieferten Abfallhaufens wird die räumliche Entkoppelung von Entladung, Vorsortierung und Aufgabe in den Vorzerkleinerer erreicht.

Die Beschickung des Vorzerkleinerers erfolgt durch einen Greiferbagger auf ein Bunkerband. Alternativ dazu kann auch ein Radlader diese Aufgabe übernehmen.

- **Zwischenlager**

Aussortierte Fraktionen werden in der Anlage in geeigneten Behältern erfasst. Im Bereich der Vorsortierung sind dies Abrollcontainer von 15 bis 30 m³.

Eisenschrott wird in 30 m³ Container und 1.100 l Sammelbehälter erfasst und bei entsprechendem Füllstand der Behälter der Eisenschrott-Zwischenlagerbox zugeführt. NE-Schrott aus dem Wirbelstromscheider wird in 1.100 l Containern erfasst und ebenfalls einer Zwischenlagerbox zugeführt. Der Transport zur stofflichen Verwertung erfolgt mittels Walkingfloor-LKW, die Verladung mittels Radlader.

Das Zwischenlager für die hochkalorische Leichtfraktion aus dem Windsichter (Ballen) ist überdacht ausgeführt, um das Material vor Feuchtigkeit zu schützen. Rund 500 t können maximal gelagert werden. Die Einlagerung und Verladung erfolgt durch Stapler.

Das Zwischenlager für den HOTDISC-EBS besteht einerseits aus einem Tageslager (Anlagenabwurf nach dem Störstoff-Abscheider, Kapazität ca. 200 t) und falls dieses nicht ausreicht, aus einem Schüttgutlager in Boxen. Diese sind durch Zwischenwände in mehrere Lagerbereiche getrennt und ermöglichen eine Zwischenlagerung von bis zu 3.000 t. Die Befüllung dieses Zwischenlagers und die Verladung in Walkingfloor-LKW erfolgt durch Radlader.

- **Outputlogistik**

Feinfraktion und Fraktionen aus der Vorsortierung werden mittels Hakenwagen-Containerfahrzeugen abtransportiert, teilweise nur bis zu einem innerbetrieblichen Sammelplatz (Altholz, Karton, Metalle) von dem aus die weitere Abholung organisiert wird.

5.5.5 Qualitätssicherungssystem

Der HOTDISC-EBS ist ein Produkt, das gezielt hergestellt wird und bestimmte Eigenschaften aufweisen muss¹⁾, um seinen Zweck als Brennstoff im Zementdrehrohrofen zu erfüllen [49, S. 17]. Die Summe dieser speziellen Eigenschaften kann als Qualität²⁾ des EBS bezeichnet werden.

Das Qualitätssicherungssystem verfolgt mehrere Ziele:

- Sicherstellung, Dokumentation und Nachweis der vertraglich vereinbarten Mindestqualität. Diese ist in der Spezifikation des Liefervertrages bindend vereinbart (vgl. Anhang III).
- Beobachtung und Dokumentation von betriebswichtigen Eigenschaften zur Optimierung der Produktion.
- Sicherstellung der Einhaltung von internen Qualitätsstandards. Diese können von den vereinbarten Spezifikationen abweichen.

Die Qualitätssicherung erfolgt auf verschiedenen Ebenen. Einerseits im Bereich der Splittinganlage durch Eigenuntersuchungen oder Analysen externer Labors. Andererseits durch das Zementwerk, indem Proben bei der Anlieferung gezogen werden und diese im betriebs-eigenen Labor auf besonders wichtige Parameter, wie z.B. Hu, WG, Cl, Hg, Cd, Pb, untersucht werden. Die Probenahme kann dabei nicht als repräsentativ angesehen werden, da die Probemenge lediglich übliche Mengen umfasst (ca. 10 l) und nicht auf die Berechnungen gem. CEN 343 N88 Rücksicht nimmt (statistisch notwendige Probemenge beim HOTDISC-EBS beträgt ca. 600 kg, Berechnung siehe Anhang VIII.D). Die Untersuchungen in der Splittinganlage und im Zementwerk haben den Zweck der Plausibilitätsüberprüfung. Sind die untersuchten Parameter im vereinbarten Bereich und treten keine Probleme auf, so wird angenommen, dass der gelieferte HOTDISC-EBS der vereinbarten Spezifikation entspricht.

Laufend werden in der Splittinganlage Proben gezogen und in einem 30-m³-Container zwischengelagert. Dieses Volumen entspricht einer repräsentativen Probemenge und kann bei Qualitätsdiskussionen gesondert untersucht werden. In diesem Fall ist die Repräsentanz der Probe gesichert. Aufgrund des enormen Aufwandes und der mit der Untersuchung verbun-

¹ Zweifellos ist EBS ein Produkt (oder eine Ware) im wirtschaftlichen Sinne, da er alle notwendigen Kriterien eines Produktes aufweist. Abfallrechtlich ist der HD-EBS jedoch Abfall und unterliegt daher besonderen rechtlichen Regelungen.

² Unter den Begriffen Qualitätssicherungssystem sowie Qualitätsmanagement werden alle Aktivitäten einer Organisation zusammengefasst, die dazu geeignet sind, das gewünschte Merkmal Qualität bei der Erreichung des Ergebnisses der Leistungserstellung zu erreichen. Qualität nach DIN 55350 „ist die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen.“ [60, S. 404]

denen hohen Kosten wird dieser Fall jedoch von beiden Vertragsseiten nach Möglichkeit vermieden.

Einmal pro Quartal erfolgt eine genaue und vollständige Untersuchung aller Parameter mit einer, der CEN 343 N88 entsprechenden Probenahme und Probenvorbereitung, sowie Analysen in externen Labors. Der Ablauf ist im Qualitätssicherungskonzept (vgl. Anhang VIII) beschrieben.

Das Qualitätssicherungskonzept ist wie beschrieben mehrstufig:

- Interne Probenahme und Analyse durch den EBS-Produzenten.
- Deklaration der Vertragskonformität durch den EBS-Produzenten.
- Interne Probenahme und Analyse durch den EBS-Abnehmer (Zementwerk).
- Vollständige Untersuchung durch externe Fachanstalt jedes Quartal.
- Rückstellproben aus laufender Produktion und externe Untersuchung im Fall von Qualitätsproblemen.

Besonders wichtige Maßnahme zur Akzeptanz der Qualität und zur Qualitätsverbesserung ist die Kommunikation der Beteiligten. Es finden daher laufend QS-Meetings statt, an denen Vertreter des EBS-Produzenten (SDAG, Betriebsleitung der Splittinganlage, Produktionsleitung) und des EBS-Verwerters (ecorec, Zementwerk Rohoznik) anstehende Probleme diskutiert sowie Qualität und Maßnahmen miteinander abstimmen.

6 Wissenschaftliche Betrachtung der Verfahrensänderungen mittels Stoffflussanalyse

Die nachstehende Abbildung 31 stellt die betrachteten Systeme dar. Dabei wurden die für die Stoffstrombilanzierung zugrunde gelegten Bilanzräume der Probenahmewoche 13 und 19 eingetragen. Die Probenahme selbst ist im Anhang V.A detailliert beschrieben. Diese Abgrenzungen bilden die Grundlage für die in diesem Kapitel ausgeführten Stoffstrombilanzen.

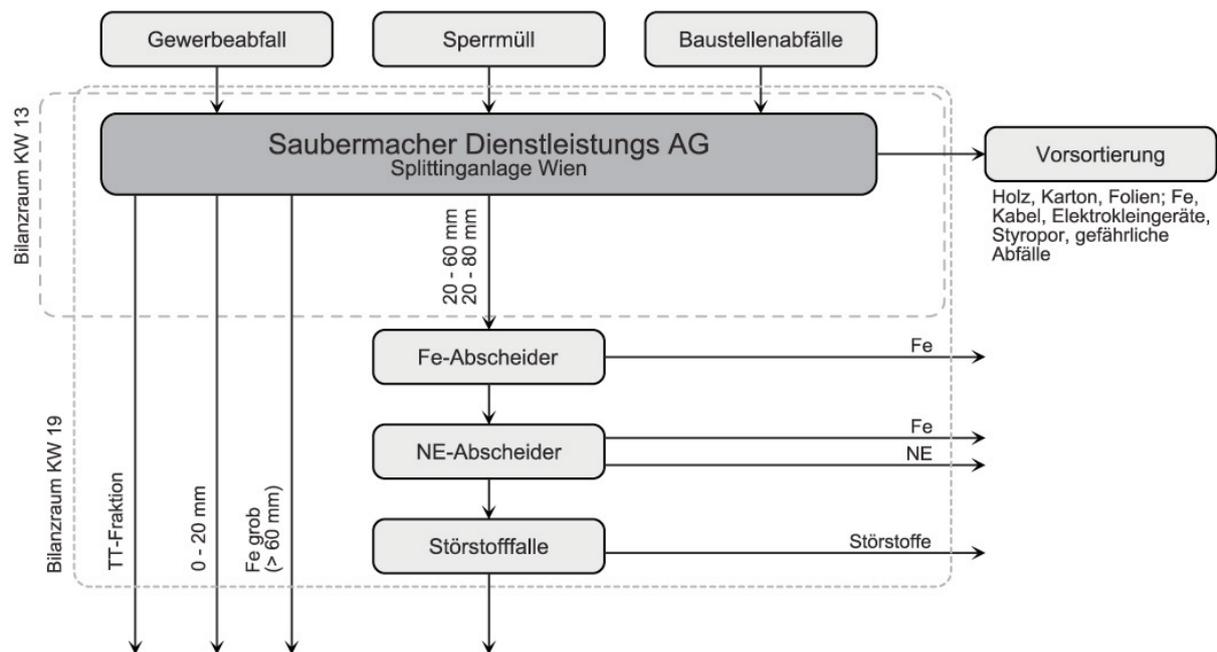


Abbildung 31: Bilanzräume der Probenahme Wochen 13 und 19

Für die Erstellung der Stoffstrombilanzen wurde auf die Methode der Stoffflussanalyse, die im Kapitel 5.1 dargestellt ist, zurückgegriffen.

Anhand der gezogenen Proben wurden im Labor¹⁾ die Parameter-Konzentrationen der untersuchten Stoffströme bestimmt. Mittels der Outputdaten aus den beiden Probenahme Wochen, welche von der Betriebsleitung zu Verfügung gestellt wurden, konnte der jeweilige Parameteranteil der einzelnen Fraktionen errechnet werden. Um eine Bezugsbasis unabhängig vom jeweiligen Feuchtegehalt zu erhalten, wurden die Konzentrationen auf die Trockensubstanz der jeweiligen Ströme bezogen. Die relative Trockensubstanz (in %) der Brennstofffraktionen (inkl. der Fraktion 0 – 20 mm) wurde im Labor ermittelt. Diesen Anteilen wurden jene aus den aussortierten Störstoffen (Metalle, Glas, Stein) hinzuaddiert. Die Trockensubstanz der Metallfraktionen wurde dabei näherungsweise der Trockensubstanz der Originalprobe gleichgesetzt.

¹⁾ Die Analysen wurden im Labor des Instituts für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

6.1.2 Stoffstrombilanz für Aluminium

In Abbildung 33 ist die Stoffstrombilanz für Aluminium in der Kalenderwoche 13 dargestellt. Der Aluminiumanteil in der Leichtfraktion von 4,52 t ist zu einem großen Teil auf die bei der Beprobung aussortierten Aluminiumdosen zurückzuführen (vgl. Abbildung 34). Diese gelangten aufgrund des Siebwechsels in die Leichtfraktion. Hierbei wurde ein 60 mm anstatt des regulären 80-mm-Siebes verwendet.

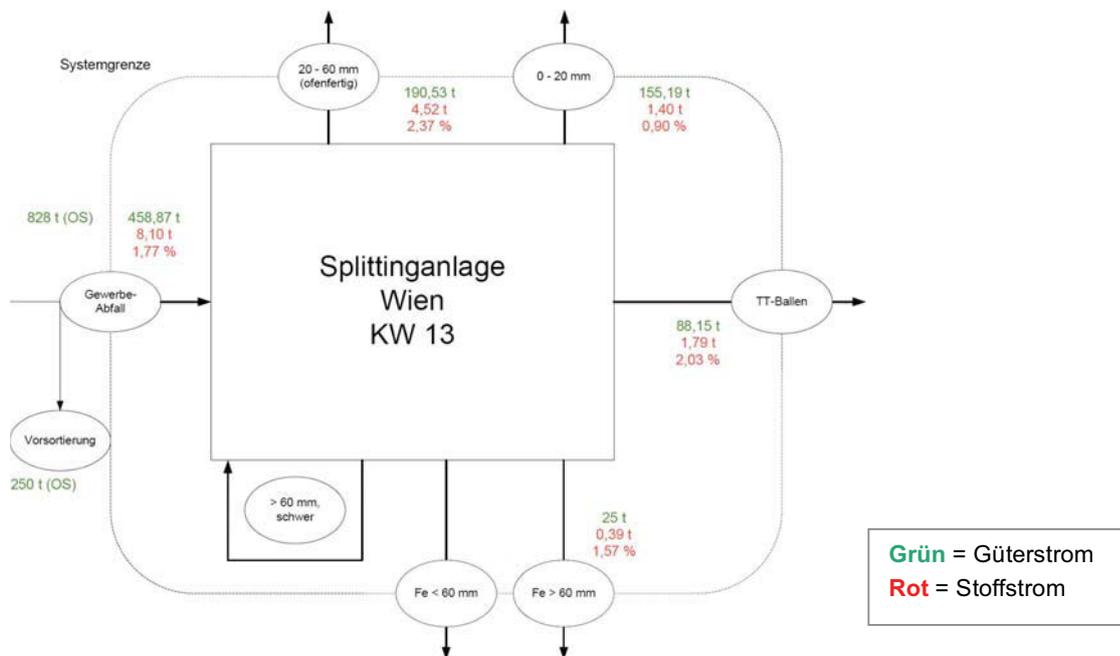


Abbildung 33: Stoffstromdarstellung Aluminium (Al) VOR Änderung (KW 13)



Abbildung 34: Aussortiertes Aluminium aus der Leichtfraktion (KW 13)

6.1.3 Stoffstrombilanz für Eisen

Abbildung 35 zeigt die Stoffstromdarstellung für Eisen innerhalb der Bilanzgrenzen. Durch die massiven Umbauarbeiten war während der Probennahme in der KW 13 nur ein Fe-Abscheider in Betrieb. Der Abscheider < 60 mm wurde zuvor demontiert.

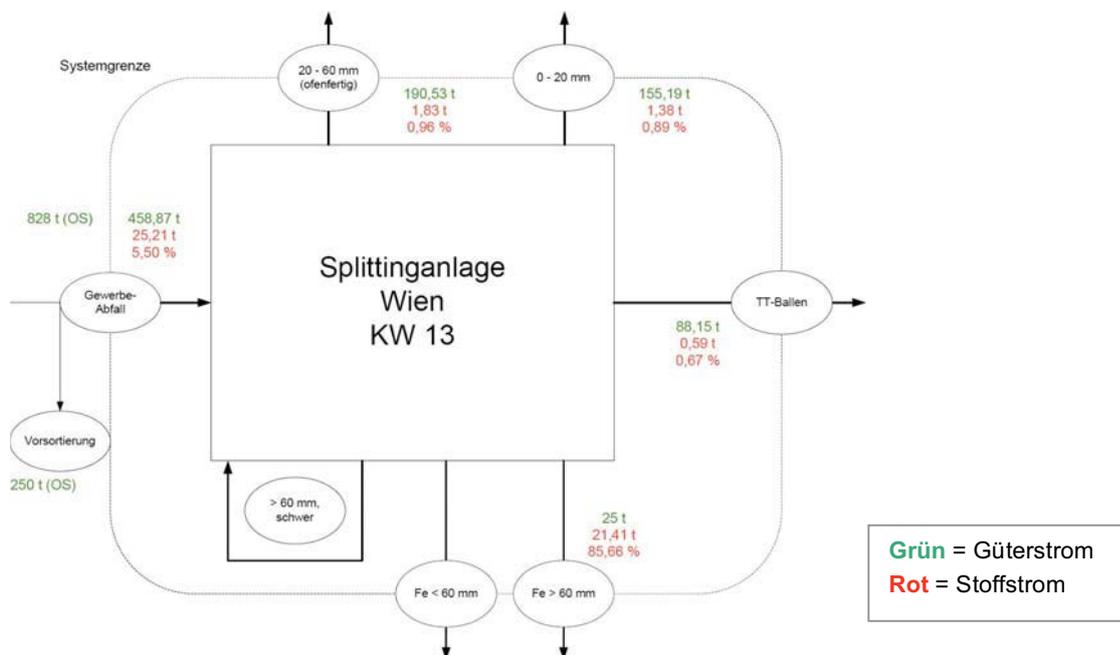


Abbildung 35: Stoffstromdarstellung Eisen (Fe) VOR Änderung (KW 13)

6.1.4 Stoffstrombilanz für Blei

Bei der Probenahme gelang es nicht, metallisches Blei durch Sortierung der Fe-Fraktion zu identifizieren und abzutrennen. Für vorgefundene Platinen wurde über eine Abschätzung auf den Bleigehalt geschlossen [61]. Eine weitere Quelle für Blei stellt Bleioxid dar, welches vor allem in PVC als Stabilisator für die thermische Stabilität des Kunststoffes dient [62]. Bei den Bleigehalten zeigte die Schwerfraktion 0 – 20 mm mit 800 ppm einen Spitzenwert (vgl. Abbildung 36).

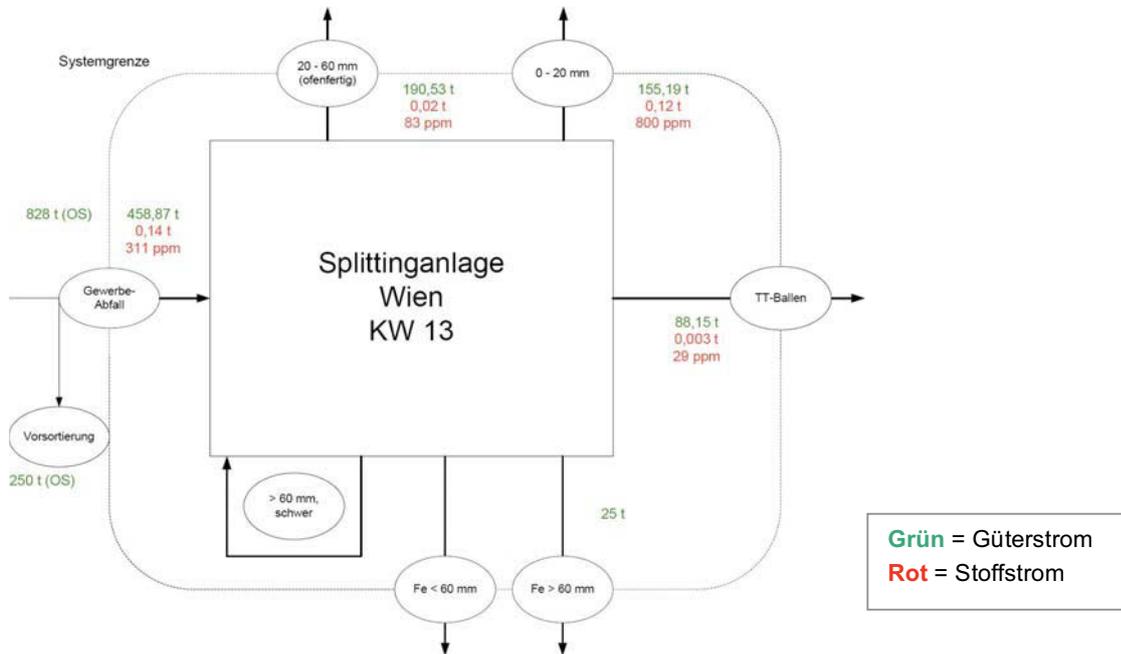


Abbildung 36: Stoffstromdarstellung Blei (Pb) VOR Änderung (KW 13)

6.1.5 Stoffstrombilanz für Kupfer

In der Stoffstromdarstellung für Kupfer zeigt sich, dass dessen Anteil zu einem großen Teil über den Fe-Abscheider aus dem System ausgetragen wird (vgl. Abbildung 37). Kupfer liegt hierbei zusammen mit dem Eisen in Form von Materialverbunden (z.B. Spulen, kleine E-Motoren u.a.) vor. Dies deckt sich mit anderen Stoffstrombilanzierungen [63] [57, S. 133 ff].

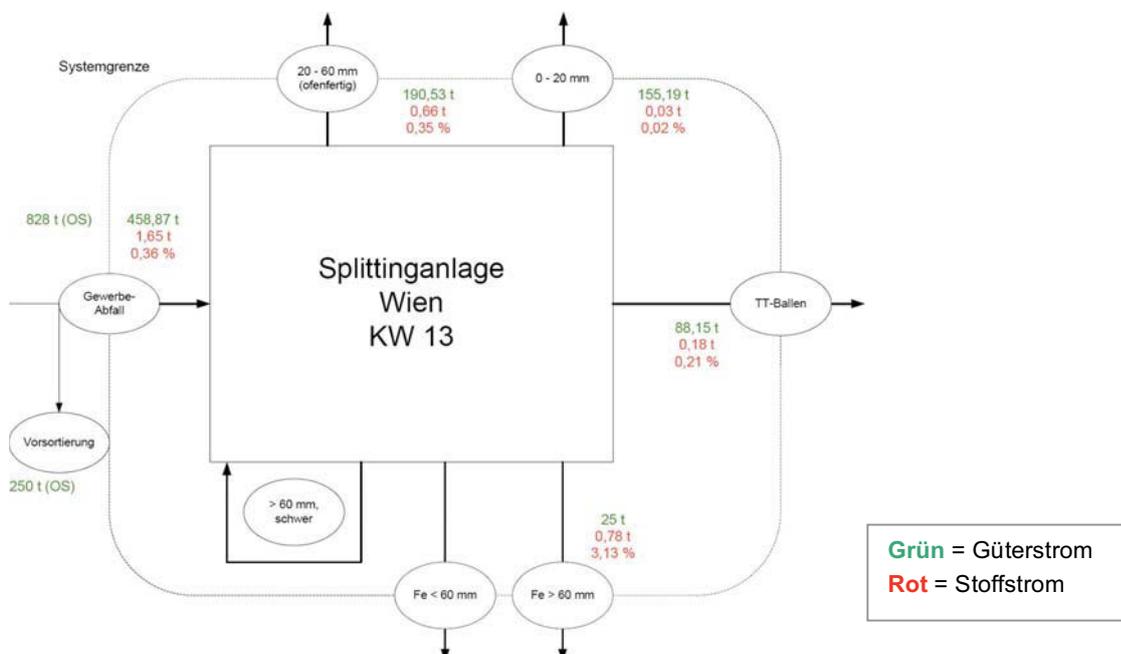


Abbildung 37: Stoffstromdarstellung Kupfer (Cu) VOR Änderung (KW 13)

6.1.6 Stoffstrombilanz für Cadmium

Eine Haupteintragsquelle von Cadmium in das betrachtete System stellen NiCd-Akkumulatoren dar. Diese werden zu 40 M-% aufgrund ihres Eisengehalts über den Fe-Abscheider ausgetragen. Der zweite Beitragspfad mit 60 M-% ist die heizwertreiche Fraktion bzw. das PVC. Im PVC wird Cadmium als Stabilisator eingesetzt [64]. Die Aufkonzentrierung von Cadmium in der heizwertreichen Leichtfraktion (20 – 60 mm) deckt sich mit den Ergebnissen von Skutan [57, S. 133 ff]. Die gesamte Stoffstrombilanz für Cadmium findet sich in der nachfolgenden Abbildung 38.

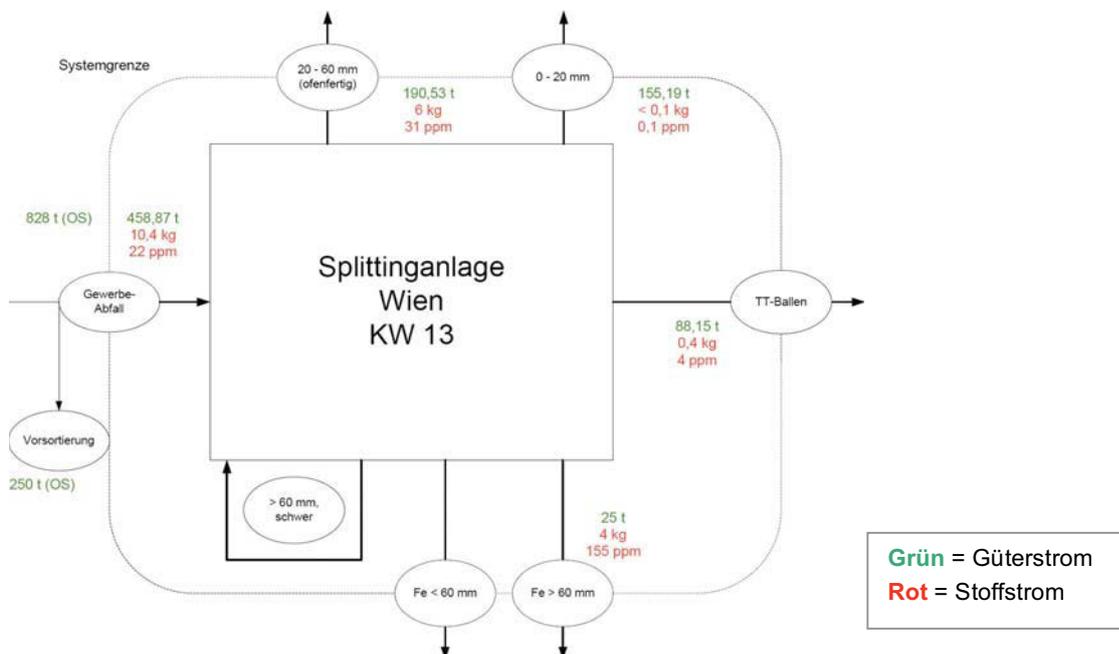


Abbildung 38: Stoffstromdarstellung Cadmium (Cd) VOR Änderung (KW 13)

6.1.7 Stoffstrombilanz für Quecksilber

Aus der Stoffstrombilanz für Quecksilber für die KW 13 ergibt sich, dass der Hauptstrom in der Leichtfraktion 20 – 60 vorliegt (vgl. Abbildung 39). Als Haupteintragsquelle an Quecksilber wurden Knopfzellen identifiziert. Dies deckt sich mit der Literatur, die ebenfalls diese Haupteintragsquelle angeben [63]. Zusätzlich erfolgte eine chemische Analyse der Stoffströme der Fraktionen 0 – 20 mm, 20 – 60 mm und der TT-Ballen. Dabei zeigte sich generell eine sehr niedrige Konzentration an Quecksilber (< 2 ppm), wovon lediglich die Leichtfraktion 20 – 60 mm abwich, welche einen analytisch bestimmten Quecksilbergehalt von 40 ppm aufwies. Dieser unerwartet hohe Quecksilbergehalt ist darauf zurückzuführen, dass einerseits die Siebung überlastet war und andererseits quecksilberhaltige Knopfzellen in Materialverbunden und daher nicht aufgeschlossen vorlagen. Sie gelangten daher verstärkt in die Leichtfraktion 20 – 60 mm.

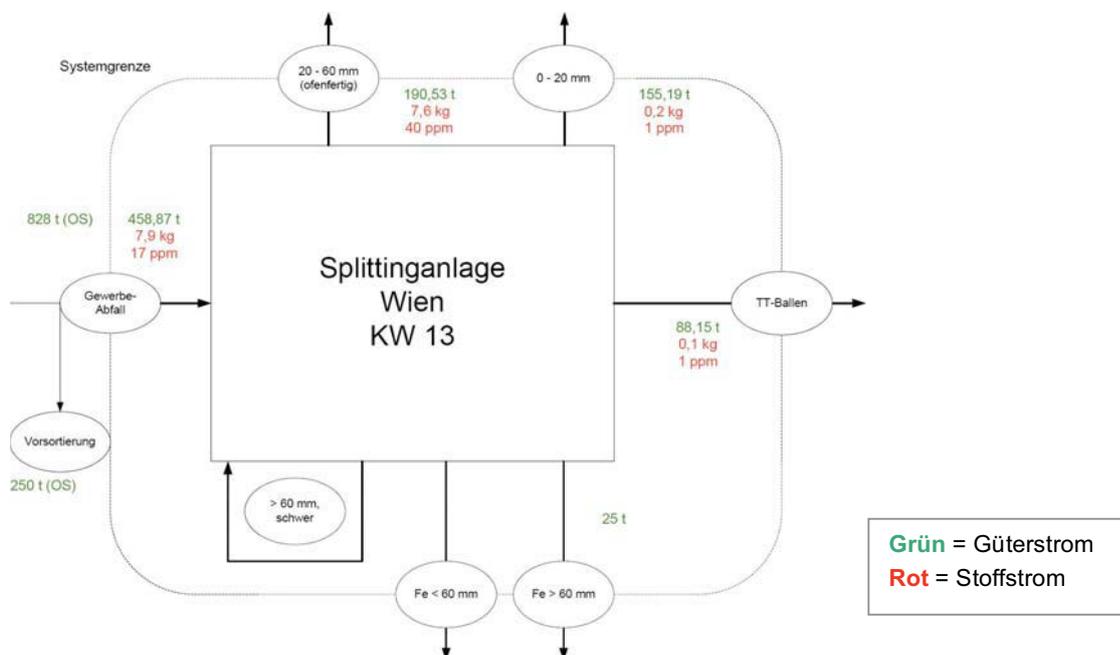


Abbildung 39: Stoffstromdarstellung Quecksilber (Hg) VOR Änderung (KW 13)

6.1.8 Stoffstrombilanz für Chlor

Chlor wird vorwiegend über Kunststoffteile (z.B. PVC) in das System eingetragen. Durch eine Absiebung kommt es zur Anreicherung von Chlor in der heizwertreichen Leichtfraktion. Dies resultiert zum einen daraus, dass massive Störstoffe und Metalle geringe Konzentrationen an Chlor aufweisen [62, S. 419]. Nach Schirmer liegt Chlor in biogenen Fraktionen, wie Küchenabfall und im Feinanteil von Restabfall (< 10 mm, 10 – 40 mm) in Form von anorganischen Chloriden vor [42, S. 167 f]. (vgl. Abbildung 40)

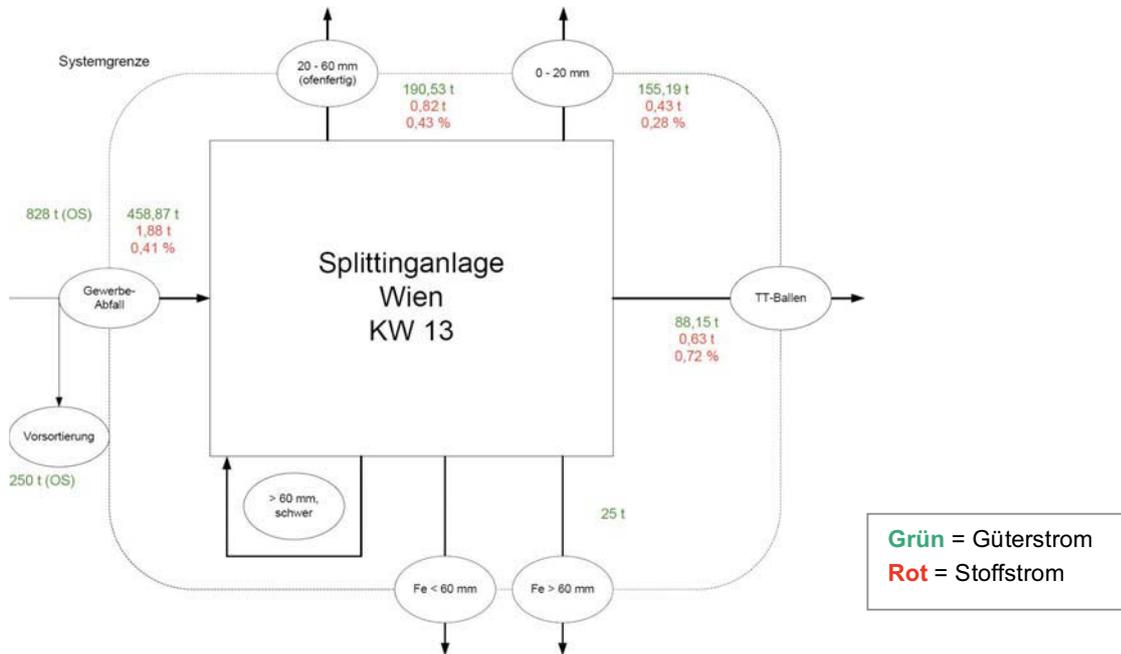


Abbildung 40: Stoffstromdarstellung Chlor (Cl) VOR Änderung (KW 13)

6.1.9 Stoffstrombilanz für Störstoffe

Bei der Beprobung der Stoffströme erfolgte eine Aussortierung der Störstoffe Metall, Stein und Glas. Für die Abbildung 41 wurden die Gehalte an Glas sowie Stein aus den Sortierungen und der Störstoffanteil aus den Laboruntersuchungen berücksichtigt. Sehr gut zeigt sich die Abreicherung der Störstoffe in der Leichtfraktion (= TT-Ballen).

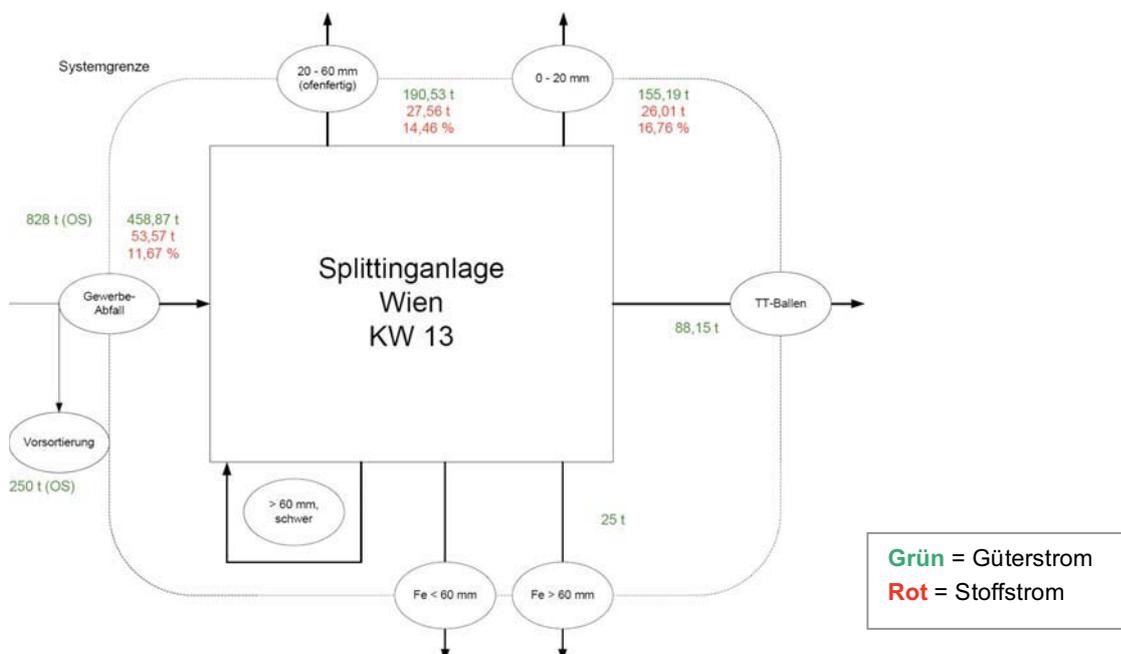


Abbildung 41: Stoffstromdarstellung Störstoffe (Glas, Stein) VOR Änderung (KW 13)

Bei den in der Anlage durchgeführten Handsortierungen zeigte sich in der ofenfertigen Fraktion (20 – 60 mm) eine Anreicherung an Glas und Steinen (vgl. Abbildung 42). Bei der Fraktion 0 – 20 mm erfolgte eine Analyse des Störstoffanteils im Labor.



Abbildung 42: Tagesprobe Störstoffe (Glas, Steine) Fraktion 20 – 60 mm (KW 13)

6.1.10 Bilanz für Heizwert

Durch die dargestellten Aufbereitungsschritte (z.B. Abtrennung der Metalle, Abtrennung des Feinanteils) kommt es zur Abtrennung unbrennbarer Anteile und somit zur erwarteten Erhöhung des Heizwertes der erzeugten EBS-Fractionen (vgl. Abbildung 43).

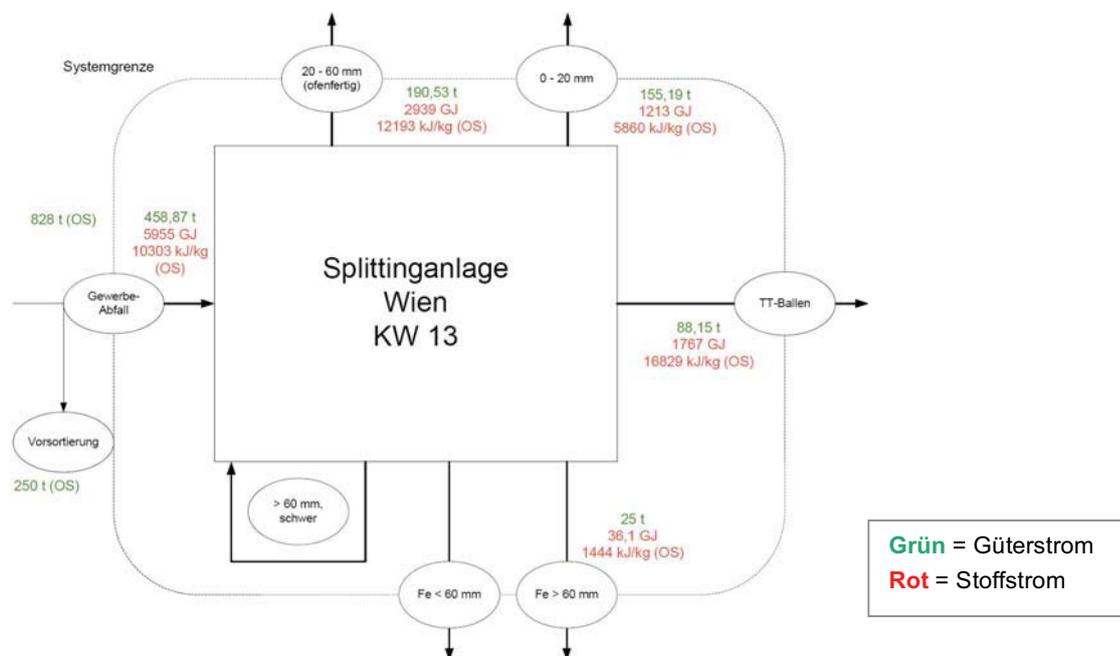


Abbildung 43: Stoffstromdarstellung – Heizwert (Hu) VOR Änderung (KW 13)

6.2 Produktionsanlage nach Änderung (Stoffströme KW 19)

Für die Bilanzen der KW 19 wurde, wie auch bei der Bilanzierung der KW 13, rekursiv der Inputstrom in den gewählten Bilanzraum ermittelt. Hierdurch konnte ein Vergleich von errechneten zu beprobten Stoffströmen erstellt werden. In den nachfolgenden Bilanzen sind die errechneten Daten, die man durch rekursives Addieren der abzweigenden Stoffströme erhält, blau eingetragen. Teilweise weichen die analysierten Werte von den errechneten stark ab, was wahrscheinlich auf Schwankungen im Betrieb der Anlage aber vor allem auf die Heterogenität der Proben zurückzuführen ist.

6.2.1 Veränderte Güterstrombilanz

Soweit nicht anders angegeben beziehen sich die Daten analog zur Kalenderwoche 13 und auf die Trockensubstanz der Stoffströme. Nur die Heizwerte werden auf die Originalsubstanz (= Massenstrom + Wassergehalt) bezogen (vgl. Abbildung 44).

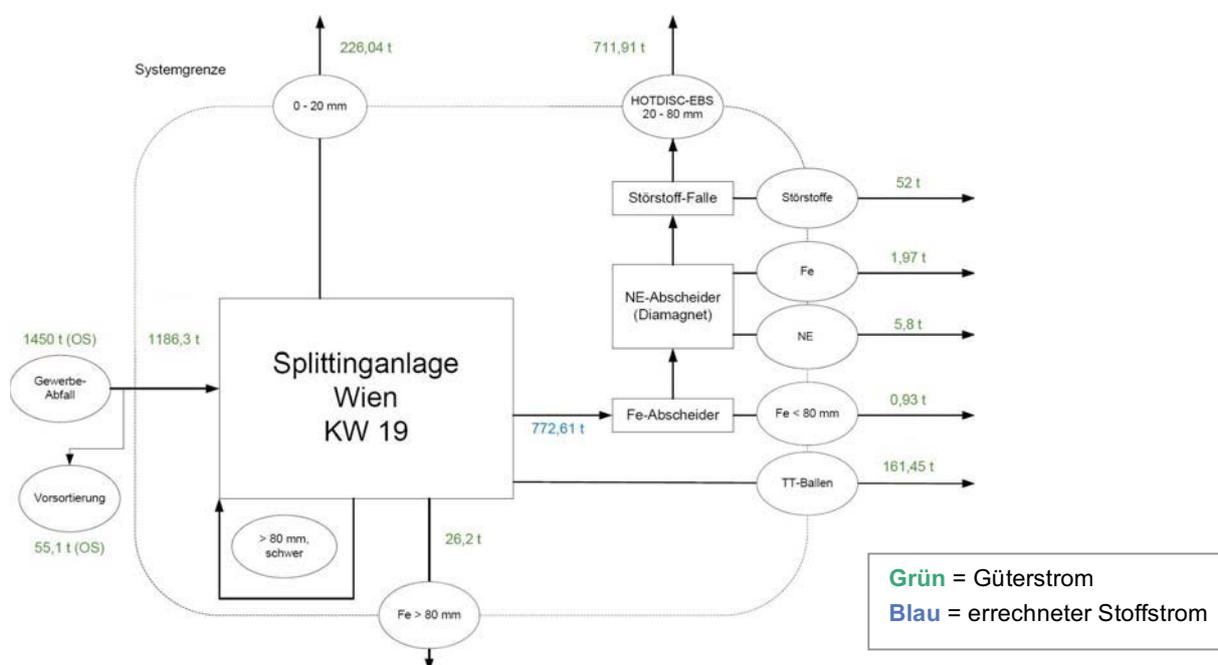


Abbildung 44: Güterstromdarstellung Massenströme NACH Änderung (KW 19)

6.2.2 Veränderte Stoffstrombilanz für Aluminium

In der zweiten Probenahmewoche wurde bereits der NE-Abscheider eingesetzt. Wie aus der nachstehenden Abbildung hervorgeht, fällt im Abscheider fast ausschließlich Aluminium an (vgl. Abbildung 45). Durch die Benützung eines 80-mm-Siebes anstelle eines 60-mm-Siebes wurde auch der Aluminiumgehalt in der TT-Fraktion vermindert (vgl. äquivalente Stoffflussdarstellung der KW 13, Abbildung 33).

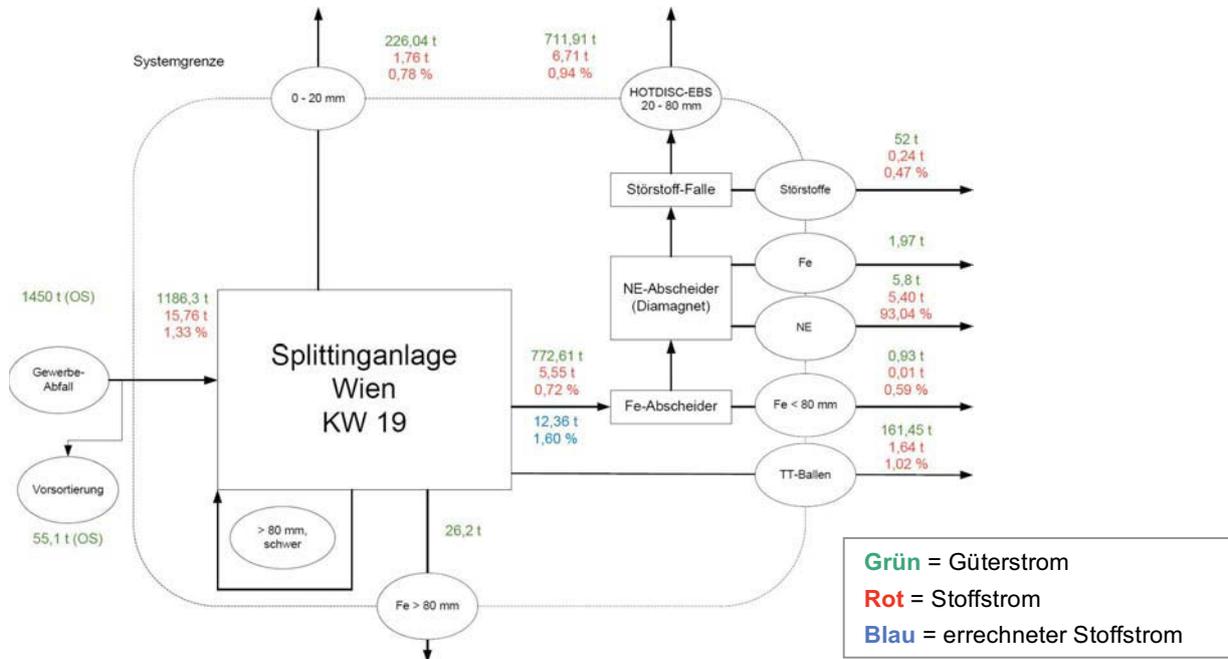


Abbildung 45: Stoffflussdarstellung Aluminium (Al) NACH Änderung (KW 19)

6.2.3 Veränderte Stoffstrombilanz für Eisen

Neben den Fe-Abscheidern Fe 1 (= Anlagenbezeichnung für den Abscheider > 80 mm) und Fe 2 (= Anlagenbezeichnung für den Abscheider in der Fraktion 20 – 80 mm) wird auch über den diamagnetischen Nichteisenabscheider eine eisenhaltige Fraktion abgezogen (vgl. Abbildung 46).

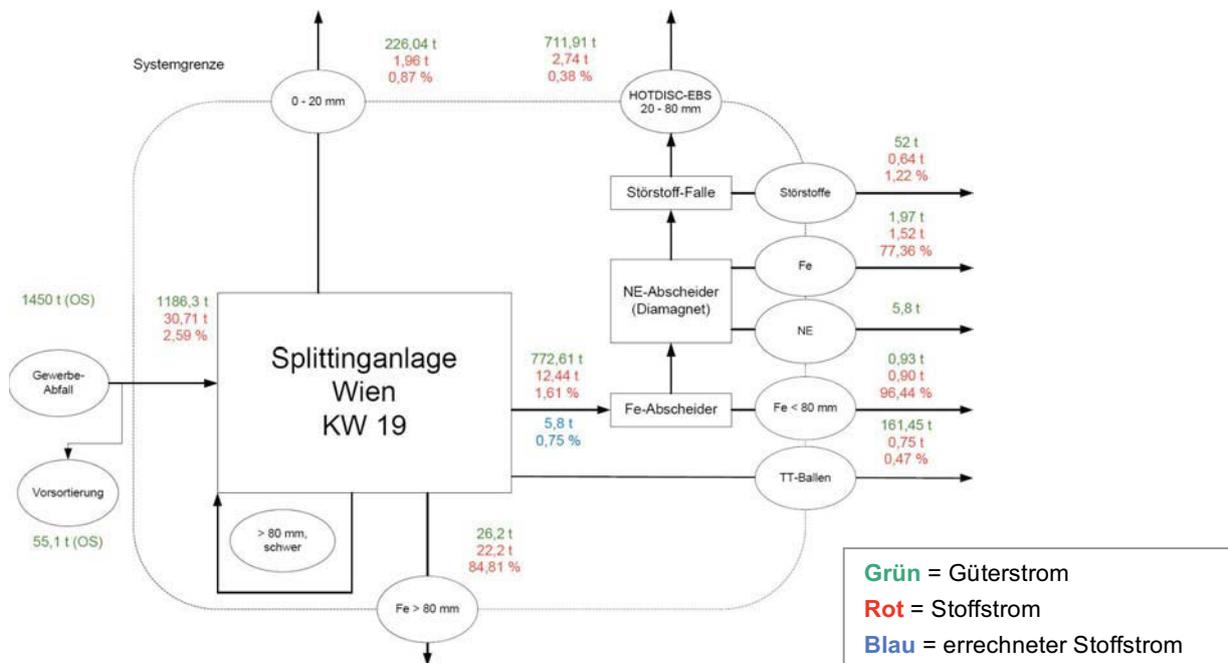


Abbildung 46: Stoffstromdarstellung Eisen (Fe) NACH Änderung (KW 19)

Die eisenhaltige Fraktion wird in einem eigenen Container aufgefangen und aus dem System ausgeschleust. Über den Störstoff-Abscheider wurden ca. 0,64 t aus dem Stoffstrom ausge-tragen. Der Störstoff-Abscheider ist dabei vom Prinzip her wie ein Windsichter aufgebaut.

6.2.4 Veränderte Stoffstrombilanz für Blei

Auch in der KW 19 gelang es nicht, metallisches Blei bei der Sortierung der Metallfraktionen zu identifizieren. Die eingetragenen Mengen resultieren daher aus einer Kombination aus Analyse und Abschätzung anhand der Sortierungen für die Brennstofffraktionen sowie der Abschätzung auf Basis der Sortierungen für die metallreichen Fraktionen bzw. der Störstoff-fraktion. Der Großteil der Bleianteile liegt in den Brennstofffraktionen (HOTDISC-EBS und TT-Ballen), sowie in der 0 – 20 mm Schwerfraktion vor (vgl. Abbildung 47). Die ermittelten hohen Konzentrationen dürften auf den erhöhten Kunststoffanteil dieser Fraktionen zurück-zuführen sein [64].

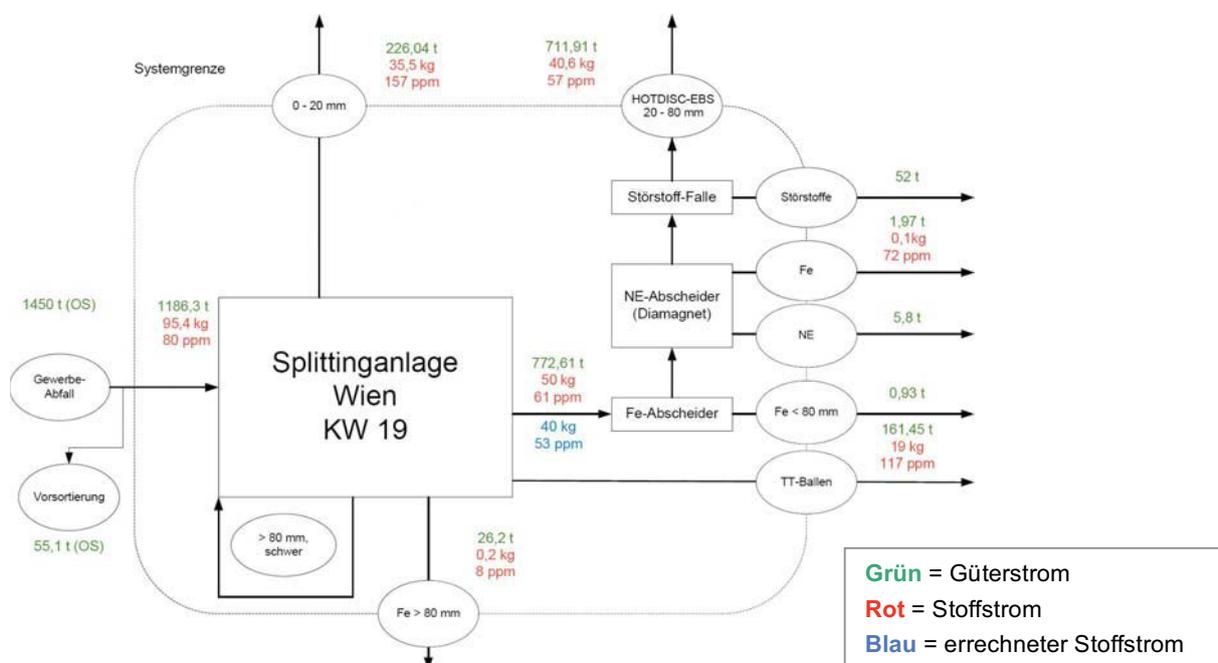


Abbildung 47: Stoffstromdarstellung Blei (Pb) NACH Änderung (KW 19)

6.2.5 Veränderte Stoffstrombilanz für Kupfer

Auch in der Kalenderwoche 19 zeigte sich, dass Kupfer vorwiegend in den Eisenfraktionen vorliegt (vgl. Abbildung 48). In den Eisenfraktionen liegt das Kupfer in Form von Materialverbunden zusammen mit Eisen vor (vgl. Abbildung 49). Ein Austrag über die NE-Fraktion des NE-Abscheiders erfolgt hingegen nur in einem sehr geringen Ausmaß.

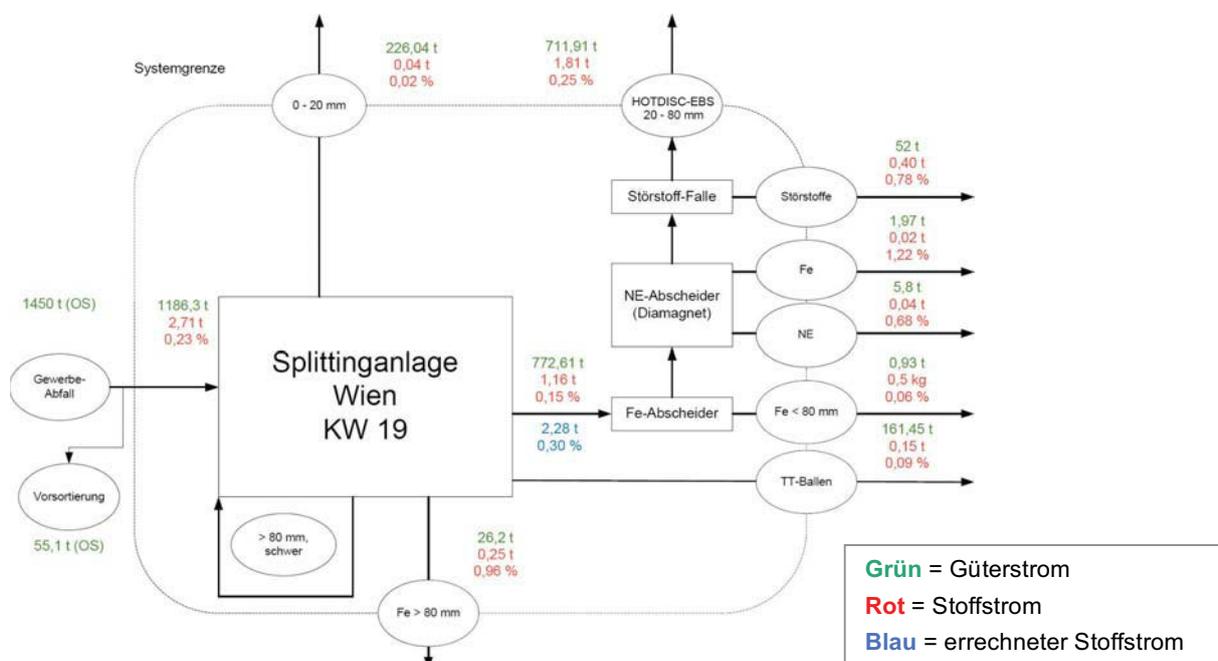


Abbildung 48: Stoffstromdarstellung Kupfer (Cu) NACH Änderung (KW 19)



Abbildung 49: Trafospule mit Kupfer, KW 19

6.2.6 Veränderte Stoffstrombilanz für Cadmium

Aus den Beprobungen über die Kalenderwoche geht hervor, dass Cadmium vorwiegend über die Eisenfraktionen (Fe > 80 mm) sowie über die Fe-Fraktion des NE-Abscheiders aus dem System ausgetragen wird (vgl. Abbildung 50). Besonders in zweiterer wurde eine Anreicherung an Batterien und Akkus vorgefunden, wodurch sich auch die Spitzenkonzentration von 679 ppm an Cadmium erklären lässt. Dies ist auch deswegen interessant, da im vorgeschalteten Fe-Abscheider 2 (Fe < 80 mm) keine Batterien aussortiert werden konnten.

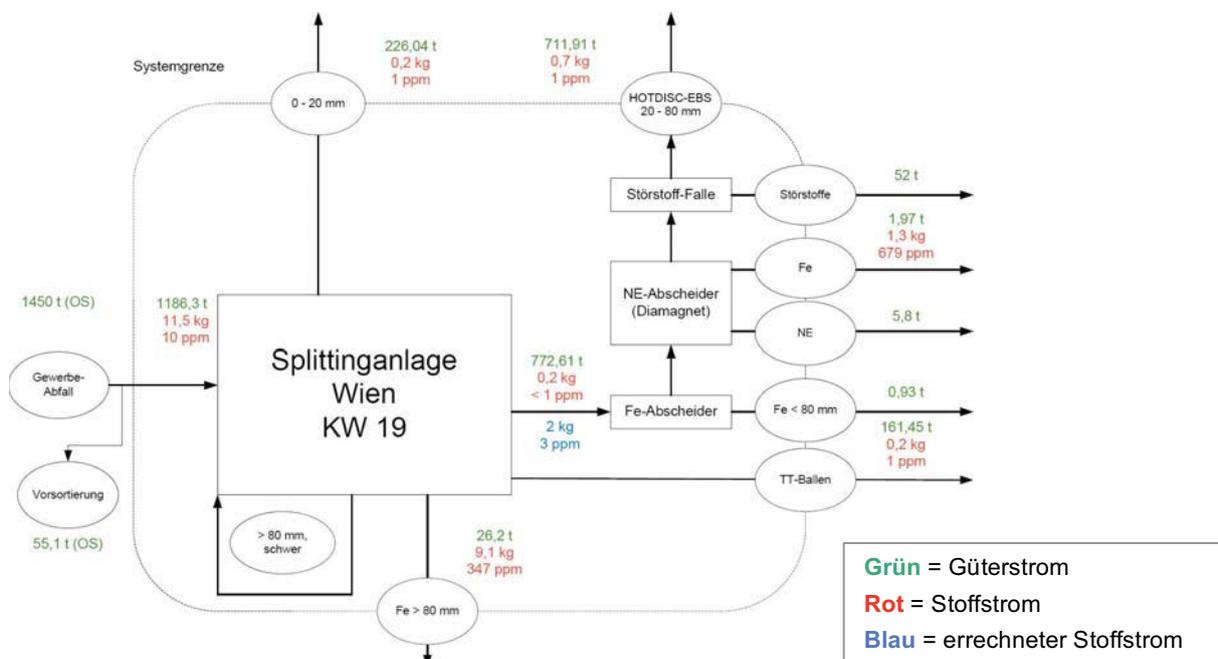


Abbildung 50: Stoffstromdarstellung Cadmium (Cd) NACH Änderung (KW 19)

6.2.7 Veränderte Stoffstrombilanz für Quecksilber

Die Gehalte an Quecksilber liegen in der Kalenderwoche 19 (vgl. Abbildung 51) teilweise deutlich niedriger als in der KW 13 (vgl. Abbildung 39). Dies liegt primär daran, dass bei der Probenahme in der KW 19 keine Knopfzellen im Input und in den Fraktionen gefunden werden konnten.

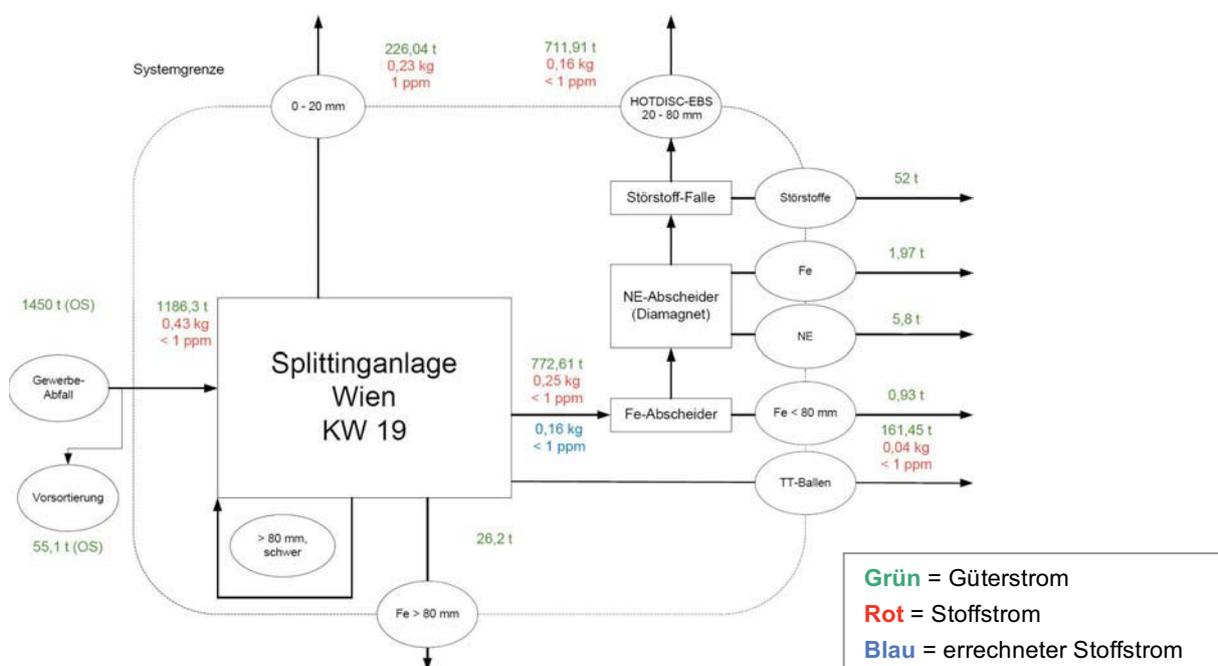


Abbildung 51: Stoffstromdarstellung Quecksilber (Hg) NACH Änderung (KW 19)

6.2.8 Veränderte Stoffstrombilanz für Chlor

Durch die Abtrennung der metallischen Fraktionen und der Störstoffe ergibt sich für die Fraktion 20 – 80 mm eine Anreicherung an Chlor (vgl. Abbildung 52). Dies deckt sich mit dem von Glorius beschriebenen Sachverhalt [62, S. 419].

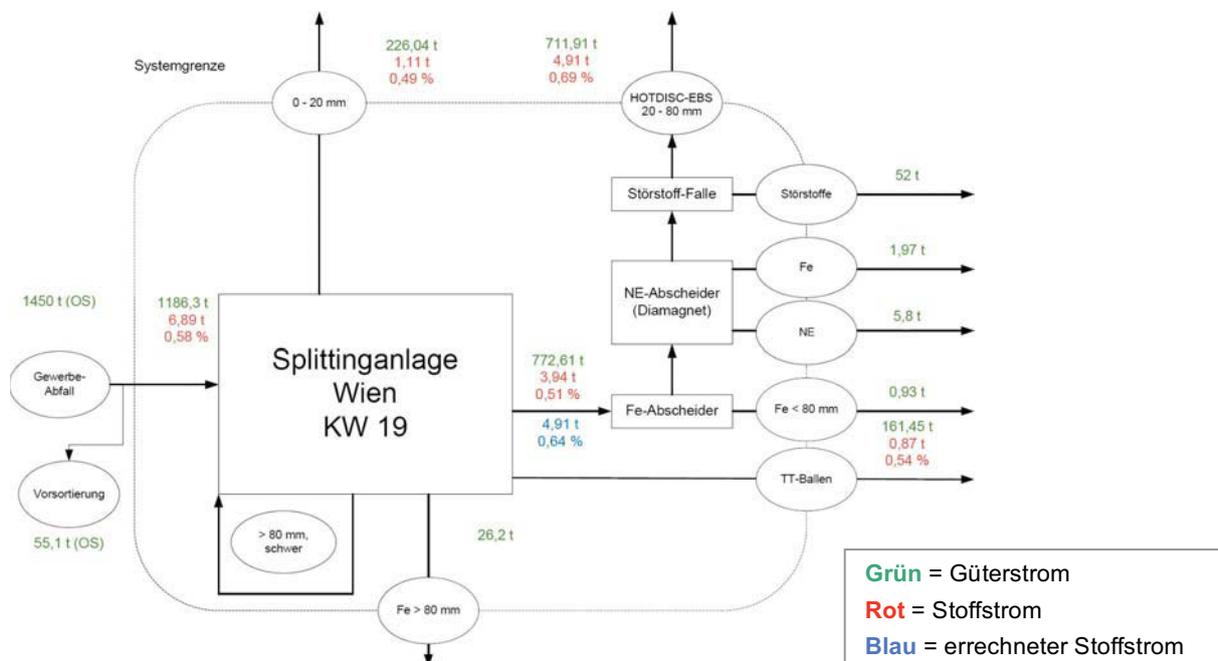


Abbildung 52: Stoffstromdarstellung Chlor (Cl) NACH Änderung (KW 19)

6.2.9 Veränderte Stoffstrombilanz für Störstoffe

Die Fraktion 20 – 80 mm (HOTDISC-EBS) nach dem 20-mm-Sieb und nach dem installierten Störstoff-Abscheider zeigt eine deutliche Verringerung des Störstoffanteils im Vergleich zu den Ergebnissen von KW 13. Dies deckt sich sowohl mit dem Ergebnis aus der Beprobung und Analyse der Fraktion 20 – 80 mm als auch mit der Rückrechnung (vgl. Abbildung 53). Schon während der Probenaufbereitung (Aussortieren der Störstoffe vor dem Zerkleinern mit dem Doppelwellenzerkleinerer) zeigte sich ein um ca. 50 % verminderter Störstoffanfall im HOTDISC-EBS.

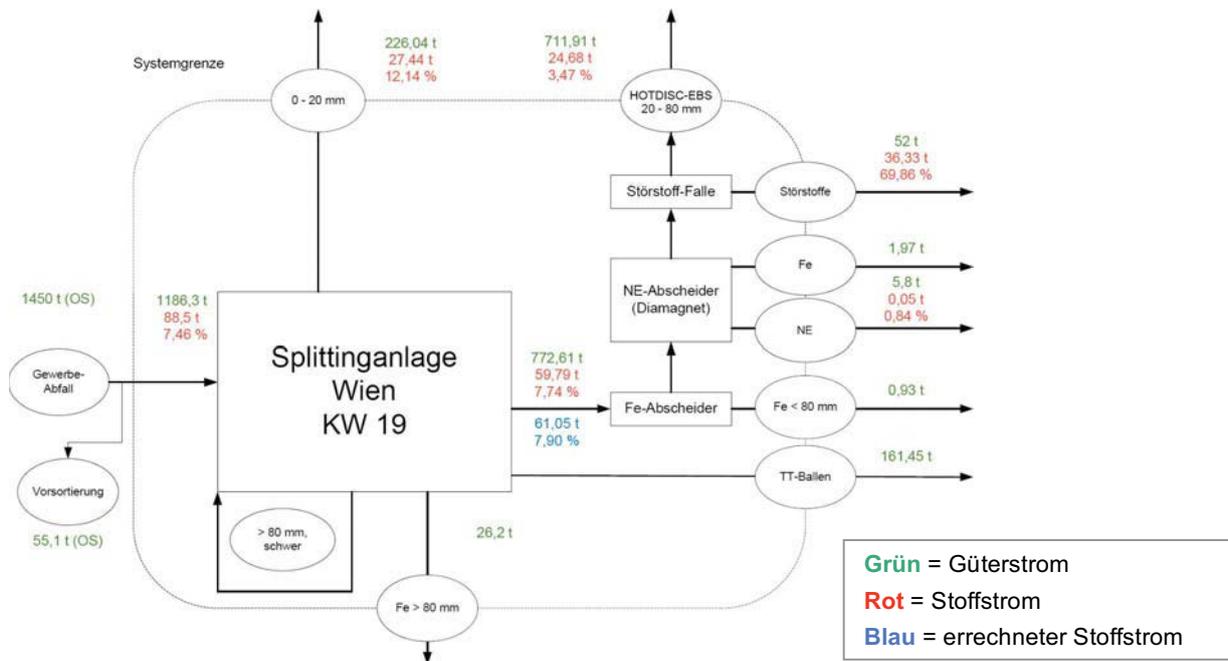


Abbildung 53: Stoffstromdarstellung Störstoffe NACH Änderung (KW 19)

6.2.10 Veränderte Bilanz für Heizwert

Die Ergebnisse der Fraktion 20 – 80 mm (HOTDISC-EBS) zeigen eine Erhöhung des Heizwertes durch die Ausschleusung der Metalle in den zwischengeschalteten Abscheideaggregaten (vgl. Abbildung 54). Dies wird begleitet durch die Erniedrigung des Heizwertes der TT-Ballen-Fraktion im Vergleich zur KW 13.

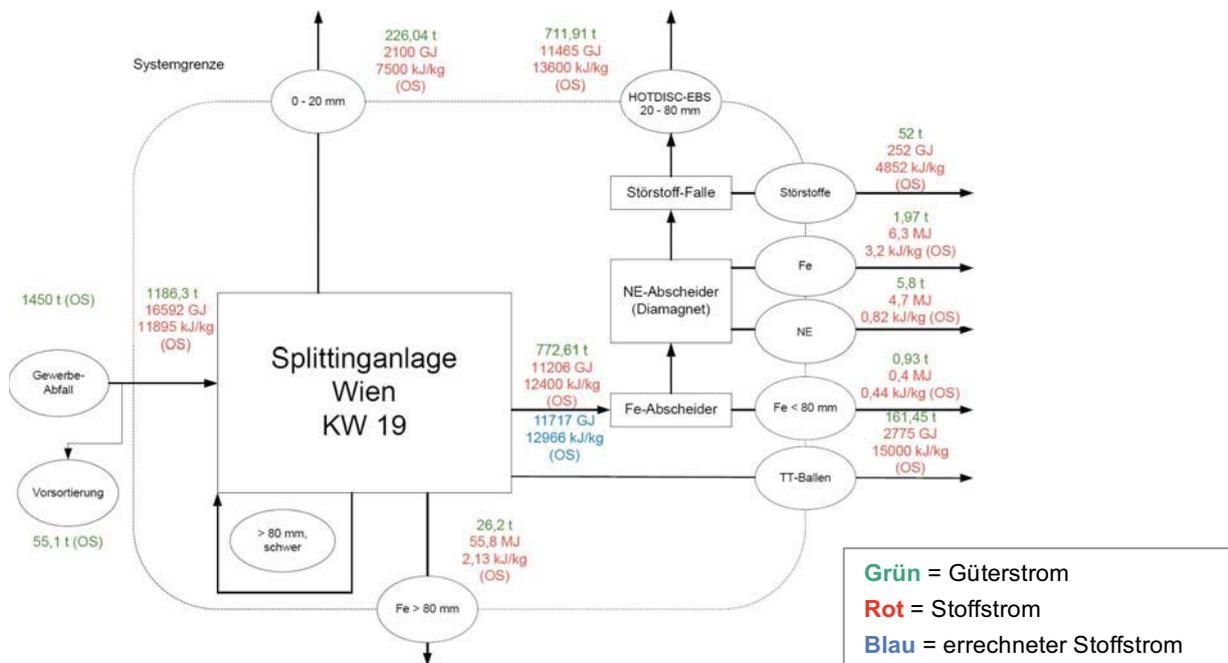


Abbildung 54: Stoffstromdarstellung Heizwert (Hu) NACH Änderung (KW 19)

Hierbei kommt es aber auch aufgrund von teilweise komplexen Materialverbunden bzw. dem Vorliegen von Drähten, immer auch zur Abscheidung von heizwertreichem Material im Eisenabscheider, wie Papier, Folien oder Gewebe (vgl. Abbildung 55).



Abbildung 55: Probe der Fraktion aus dem Eisenabscheider ($Fe < 80 \text{ mm}$) (KW 19)

Beim Störstoff-Abscheider gab es in der betrachteten KW 19 (alle fünf Probenahmetage) einen durchschnittlichen Anteil von ca. 24 % heizwertreichem Material (Holz, Kunststoff), wodurch sich auch der entsprechende Heizwert ergibt. Berücksichtigt man nur die letzten drei Probenahmetage, so ergibt sich ein Anteil von brennbarem Material (Holz, Kunststoff) in der Höhe von 21 %. Ein Vergleich der Fraktionen 0 – 20, 20 – 80 sowie der TT-Leichtfraktionsballen zeigt, dass der Heizwert mit ansteigender Korngröße zunimmt. Dies deckt sich mit den Untersuchungen von Glorius [62, S. 418].

6.3 Transferkoeffizienten

Mittels der Transferkoeffizienten kann eine Aussage über die Verteilung eines bestimmten Stoffes auf die betrachteten Güter (Fraktionen) getroffen werden. Zudem dienen sie als Ausgangsbasis für die Beurteilung von Abreicherungen bzw. Anreicherungen von Stoffen. Der Transferkoeffizient ist nach ÖNORM S 2096 definiert (vgl. Kapitel 1.3).

Nachfolgend werden die aus den Analysedaten ermittelten Transferkoeffizienten für die beiden Probennahmenperioden (KW 13 und KW 19) tabellarisch (vgl. Tabelle 9 und Tabelle 10) sowie in graphischer Form (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 57) dargestellt.

Tabelle 9: Transferkoeffizienten (KW 13)

Bezeichnung	Fraktionen			
	0 – 20 mm	20 – 60 mm (Wirbelschicht-EBS)	Fe	TT
Al [%]	17,24	55,81	4,85	22,10
Fe [%]	5,48	7,26	84,92	2,34
Pb [%]	87,09	11,09	0,00	1,82
Cu [%]	1,69	40,03	47,22	11,06
Cd [%]	0,19	58,21	37,98	3,62
Hg [%]	2,55	95,89	0,00	1,56
Cl [%]	23,13	43,10	0,00	33,78
F [%]	20,92	64,22	0,00	14,86
Zn [%]	40,57	42,07	0,00	17,36
Sn [%]	48,56	23,85	0,00	27,58
Ni [%]	57,02	21,58	0,06	21,34
Cr [%]	62,22	20,10	0,00	17,67
Hu [%]	20,37	49,35	0,61	29,68
Störstoffe [%]	48,56	51,44	0,00	0,00
Menge [% TS]	33,82	41,52	5,45	19,21

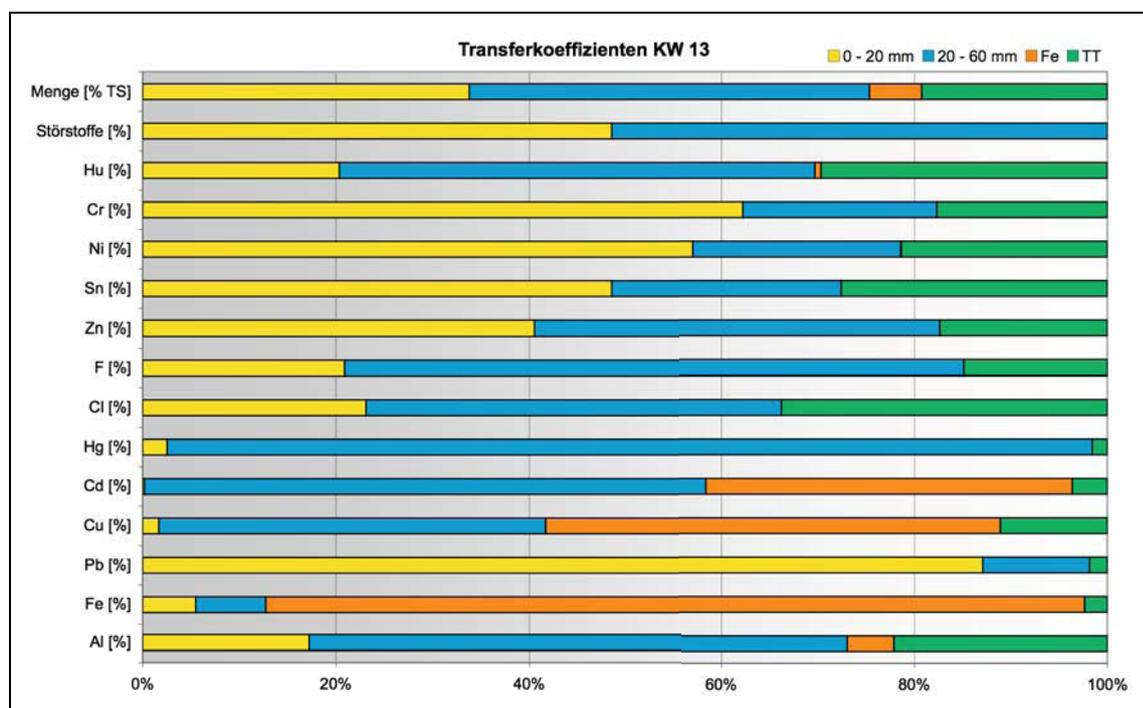


Abbildung 56: Transferkoeffizienten (KW 13)

Die Transferkoeffizienten der KW 13 zeigen die Aufteilung der einzelnen Stoffe (Analyseparameter) auf die untersuchten Güterströme (Fraktionen). So ist erkennbar, dass sich die nicht abgetrennten Störstoffe auf die Fraktionen 0 – 20 und 20 – 60 aufteilen. Mehr als die Hälfte der Störstoffe befinden sich somit im Wirbelschicht-EBS, während in der TT-Ballen-Fraktion (Sortierung und Analyse im Labor) keine Störstoffe – mit Ausnahme an Metallen – gefunden wurden. Aus den Koeffizienten geht weiters eine Anreicherung an Schwermetallen (Pb, Sn, Ni, Cr) in der Fraktion 0 – 20 mm hervor. Besonders auffällig und für die Verwendung als EBS problematisch ist die Anreicherung von Cadmium und Quecksilber in der Fraktion 20 – 60 mm (Wirbelschicht-EBS).

Tabelle 10: Transferkoeffizienten (KW 19)

Bezeichnung	Fraktionen					
	0 – 20 mm	20 – 80 mm (HOTDISC-EBS)	Fe	TT	NE	Störstoffe
Al [%]	11,27	42,94	0,06	8,92	34,41	2,39
Fe [%]	6,18	8,62	75,91	2,55	4,74	1,71
Pb [%]	37,26	42,60	0,30	19,83	0,00	0,00
Cu [%]	1,57	66,45	6,06	6,75	2,08	17,09
Cd [%]	1,11	4,36	79,41	1,19	13,94	0,00
Hg [%]	53,49	37,21	0,00	9,30	0,00	0,00
Cl [%]	16,07	71,28	0,00	12,65	0,00	0,00
F [%]	12,15	76,56	0,00	11,29	0,00	0,00
Zn [%]	36,73	57,83	0,00	5,44	0,00	0,00
Sn [%]	57,06	32,35	0,00	10,60	0,00	0,00
Ni [%]	48,29	40,84	0,00	10,86	0,01	0,00
Cr [%]	53,24	37,67	0,00	9,09	0,00	0,00
Hu [%]	12,67	69,18	0,00	16,75	0,00	1,40
Störstoffe [%]	30,58	27,50	0,00	0,00	0,00	41,93
Menge [% TS]	19,05	60,01	2,29	13,61	0,66	4,38

Für die Kalenderwoche 19 wurden die aus Analysendaten errechneten Koeffizienten analog zur KW 13 graphisch aufbereitet (vgl. Abbildung 57). Dabei ist erkennbar, dass der Großteil an Chlor und Fluor im Outputstrom des ofenfertigen HOTDISC-EBS (20 – 80 mm) zu finden ist. Bei den Metallen Cadmium und Eisen ist der Austrag über die Eisenfraktionen gut ersichtlich. Insbesondere die bei der Verbrennung problematischen Schwermetalle Cadmium und Quecksilber konnten in der Fraktion 20 – 80 mm (HOTDISC-EBS) massiv verringert werden. Ebenfalls deutlich reduziert wurden in dieser Fraktion die Störstoffe.

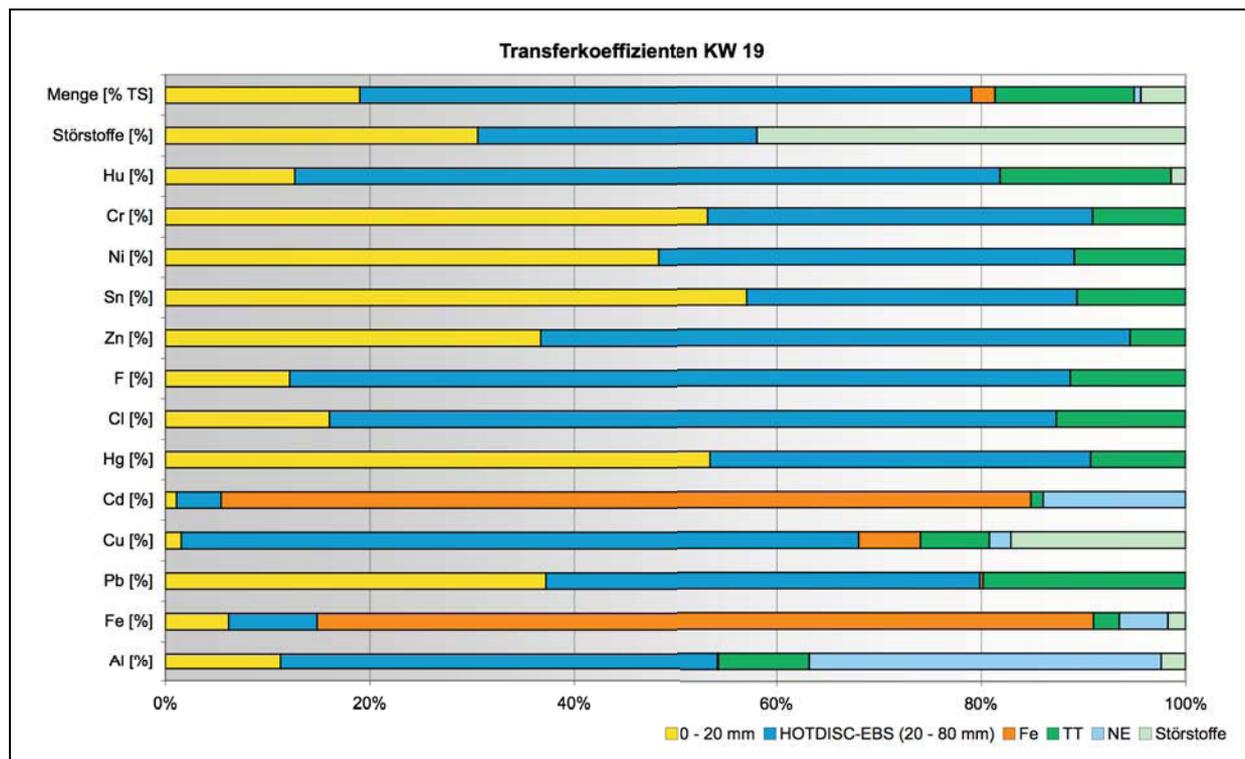


Abbildung 57: Transferkoeffizienten (KW 19)

6.4 Interpretation der HOTDISC-EBS-Qualität

Im Folgenden wird die Qualität des HOTDISC-EBS und die Veränderungen gegenüber dem bisherigen EBS Wirbelschicht 20 – 60 mm diskutiert. Als Hilfsmittel werden hierzu die Stoffströme gegenübergestellt.

Um die Qualität von HOTDISC-EBS in Hinblick auf seinen Einsatz im Zementwerk Rohoznik beurteilen zu können, sind vor allem die Stoffe (Parameter) Cd, Hg, Fe, Pb, Störstoffe, Heizwert (Hu) und Cl relevant. Daher werden diese Parameter nachfolgend durch Gegenüberstellung der Werte für KW 13 und KW 19 verglichen, unabhängig davon, ob signifikante Veränderungen auftreten oder nicht. Der Vergleich der Stoffströme für Hl, Cr, Cu, F, Ni, Sn und Zn erfolgt im Anhang (vgl. Anhang V.C).

Die Änderungen der Stoffströme der Parameter Gut, Cadmium, Eisen, Quecksilber, Blei, Störstoffe, Chlor und Heizwert werden nachfolgend detailliert mittels Sankey-Diagrammen dargestellt.

6.4.1 Sankey-Diagramme: Güter

Der Massenstrom des mittelkalorischen EBS konnte durch die vorgenommene Änderung der Splittinganlage in Richtung HOTDISC von 41,52 % auf 60,01 %, gesteigert werden. Die Reduktion der Massenströme TT-Fraktion und Feinfraktion führten zur gewünschten Erhöhung des Massenstromes HOTDISC-EBS. Die Anzahl der Outputströme erhöhte sich dabei von vier auf acht Teilströme (vgl. Abbildung 58).

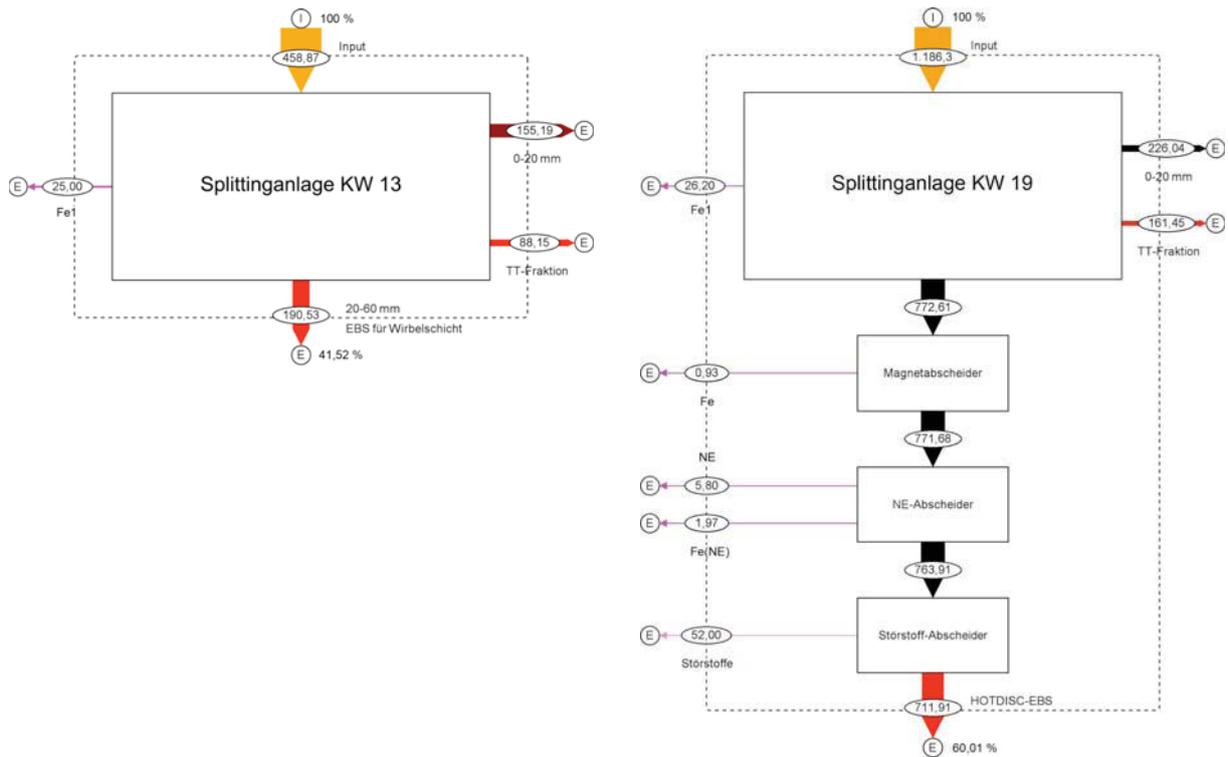


Abbildung 58: Sankey-Diagramme: Gut. Vergleich des Systems KW 13 (Gesamtinput: 458,87 t) zum System KW 19 (Gesamtinput: 1.186,3 t)

6.4.2 Sankey-Diagramme: Cadmium

Die Cadmiumströme in die Ersatzbrennstoffe wurden von KW 13 auf KW 19 massiv verringert. Insbesondere im HOTDISC-EBS ist eine starke Reduktion erkennbar (vgl. Abbildung 59). Der Stoffstrom für Cadmium reduzierte sich hierbei von 58,21 % auf 4,36 %, entsprechend einer Abnahme des Cadmiumgehaltes von 31 mg/kg TS auf 1 mg/kg TS. Auch die Cadmiumströme in die verschiedenen Metallfraktionen zeigen die stark verbesserte Abscheidung von Cadmium belasteten Metallteilen.

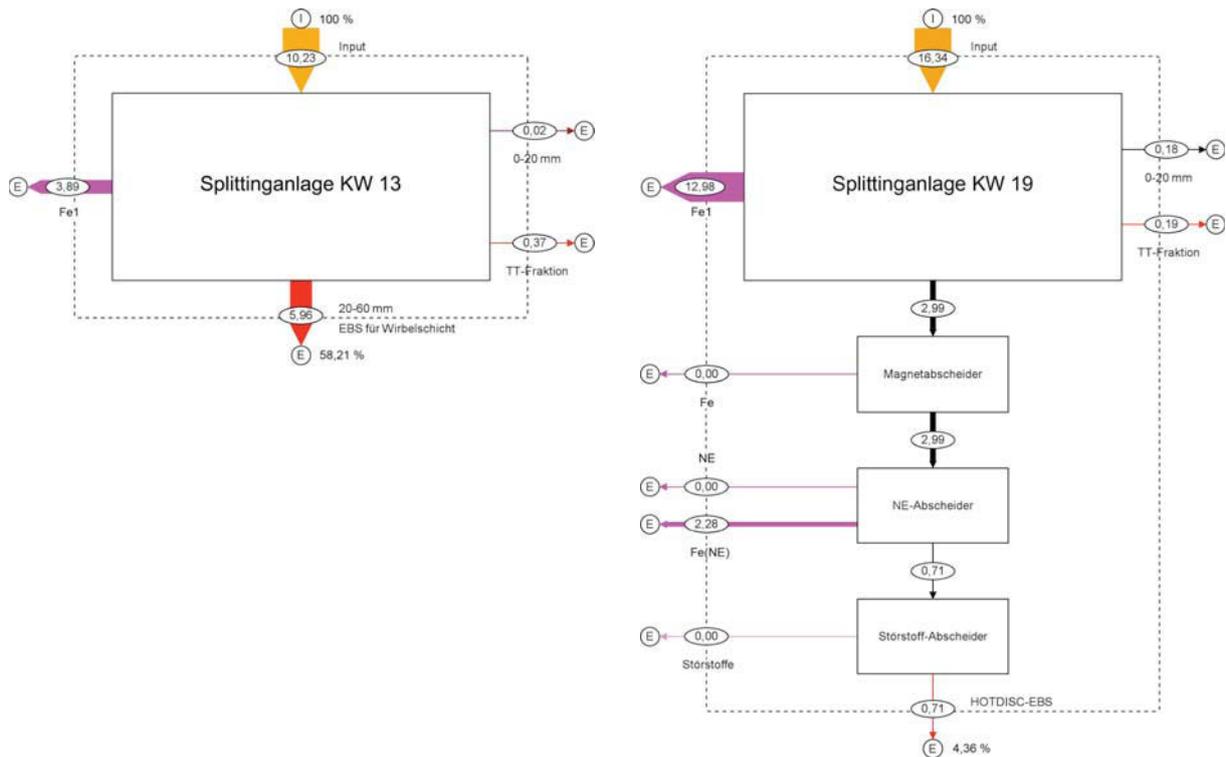


Abbildung 59: Sankey-Diagramme: Cadmium (Cd). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

Da Cadmium in der Verbrennung und auch insbesondere im Zementdrehrohrofen ein problematischer Schadstoff ist, kann die erreichte Verringerung des Cadmiums im HOTDISC-EBS als wesentliche Qualitätsverbesserung bezeichnet werden. [37, S. 23] [65, S. 223 ff]

6.4.3 Sankey-Diagramme: Eisen

Durch die Verbesserung der Metallabscheidung mittels zusätzlicher Verfahrensschritte, konnte die Abscheidung von Eisen wie erwartet verbessert werden. Eisen ist in der Verbrennung kein problematischer Parameter. Mehrere Schwermetalle sind aber an das gemeinsame Vorkommen in eisenhaltigen Fraktionen gebunden (Metallverbunde, Legierungsmetalle), sodass der Parameter Eisen einen Indikator für andere Schwermetalle darstellt und verbesserte Eisenabscheidung auch bei anderen Metallen zu Verbesserungen führt.

Im HOTDISC-EBS wurde der Eisengehalt deutlich reduziert (von 0,96 % auf 0,38 %). Dies führt auch zur Verbesserung bei anderen Schwermetallen, deren Gehalte mit jenen von Eisen korrelieren. Der Stofffluss von Eisen in den HOTDISC-EBS änderte sich dabei nur unwesentlich. Im Inputmaterial lag der Eisenanteil deutlich unter dem der Kalenderwoche 13 (vgl. Abbildung 60). Erfahrungen in anderen Anlagen zeigen, dass ein Eisengehalt von 0,2 – 0,3 % auch bei optimierter Eisenabscheidung vorhanden bleibt, sodass von einer guten Eisenabscheidung auszugehen ist.

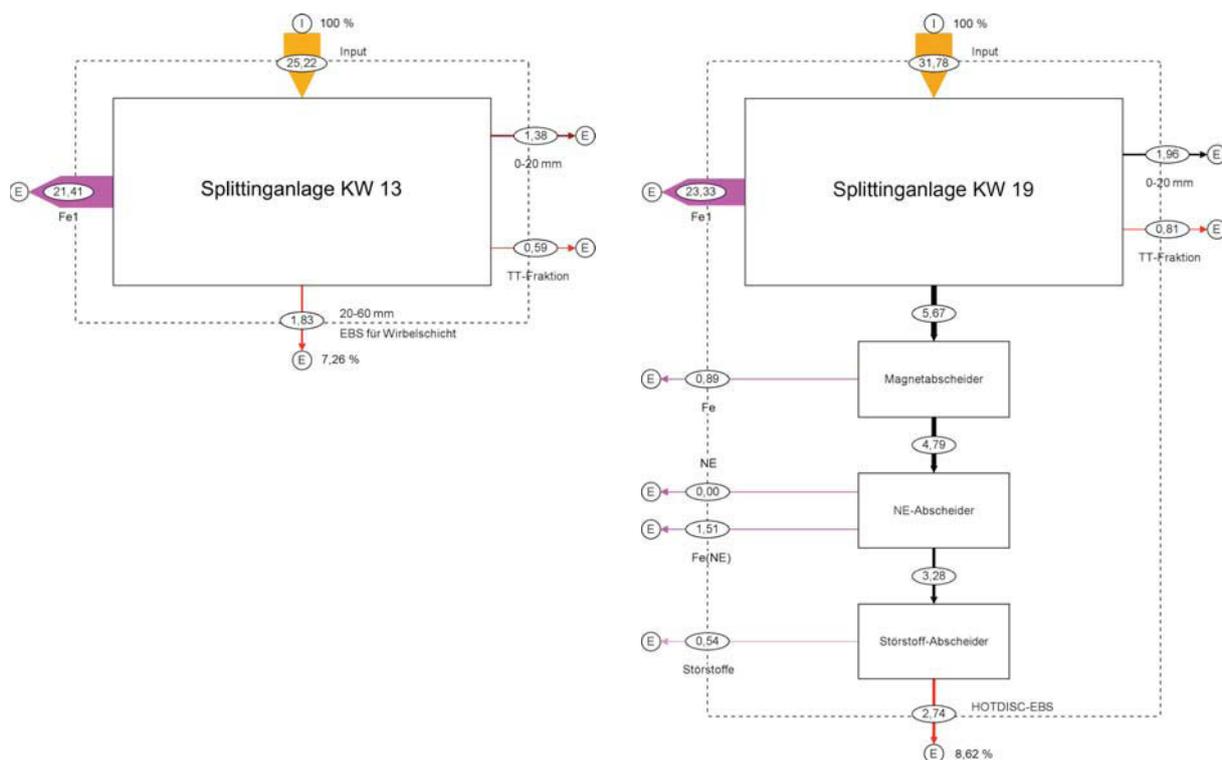


Abbildung 60: Sankey-Diagramme: Eisen (Fe). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

6.4.4 Sankey-Diagramme: Quecksilber

Der Stoffstrom von Quecksilber in den HOTDISC-EBS konnte von 95,89 % auf 37,21 % deutlich verringert werden. Auch der Gehalt an Quecksilber im HOTDISC-EBS hat sich von 40 mg/kgTS auf 0,22 mg/kgTS reduziert (vgl. Abbildung 61). Diese Reduktion des Quecksilberstromes und -gehaltes ist als wesentlich zu betrachten, insbesondere weil Quecksilber im Zementdrehrohrofen als zentraler Schadstoff zu sehen ist. Eine Reduktion des Quecksilbergehaltes im EBS für die Zementindustrie ist somit ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion von Quecksilbermissionen in der Zementindustrie [66, S. 216 f].

Die Reduktion des Gehaltes und des Stoffstromes von Quecksilber in den HOTDISC-EBS ist als zentrales Ergebnis der erreichten Qualitätsverbesserung zu werten.

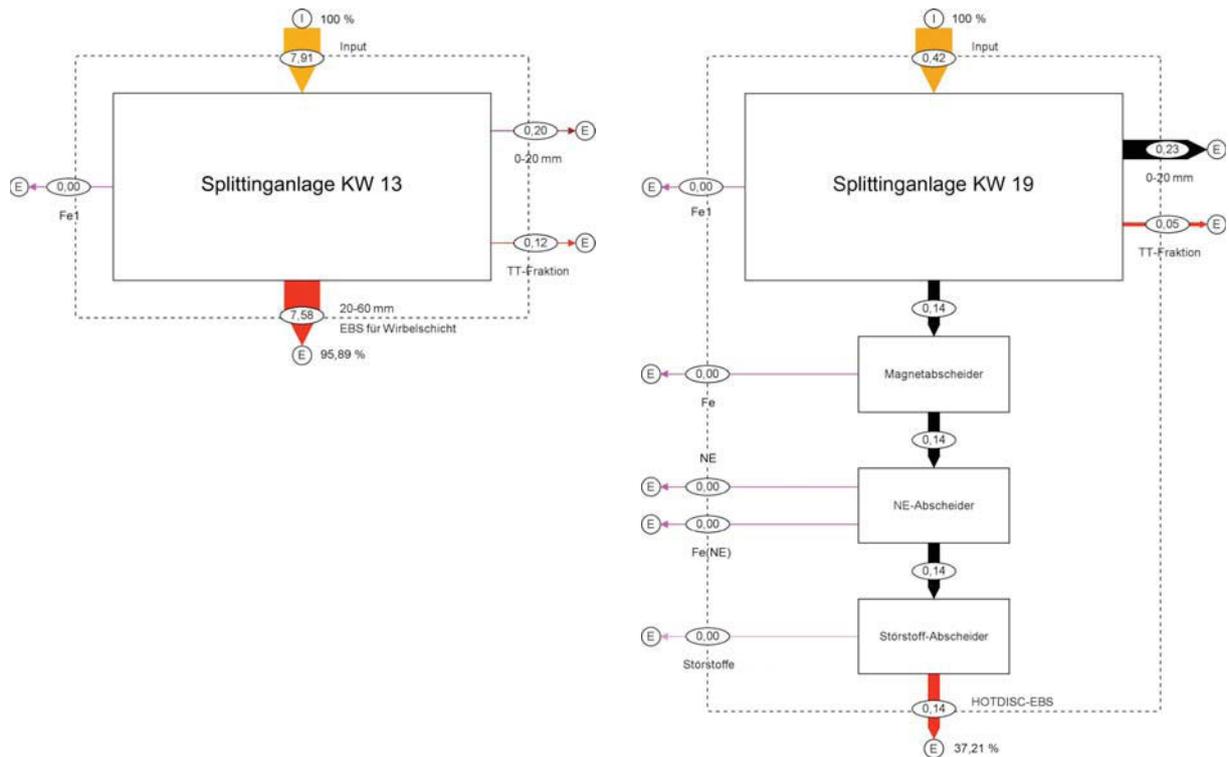


Abbildung 61: Sankey-Diagramme: Quecksilber (Hg). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

6.4.5 Sankey-Diagramme: Blei

Wie aus Kapitel 6.3 ersichtlich, hat sich der Transferkoeffizient von Blei von KW 13 auf KW 19 verschlechtert. Der Gehalt an Blei im HOTDISC-EBS hat sich allerdings um 40 % reduziert (vgl. Abbildung 62).

Da das Inputmaterial in der KW 19 gegenüber der KW 13 deutlich geringere Bleibelastung aufwies (80 mg/kg TS statt 311 mg/kg TS), ist die Beurteilung dieses Stoffflusses nicht abgesichert.

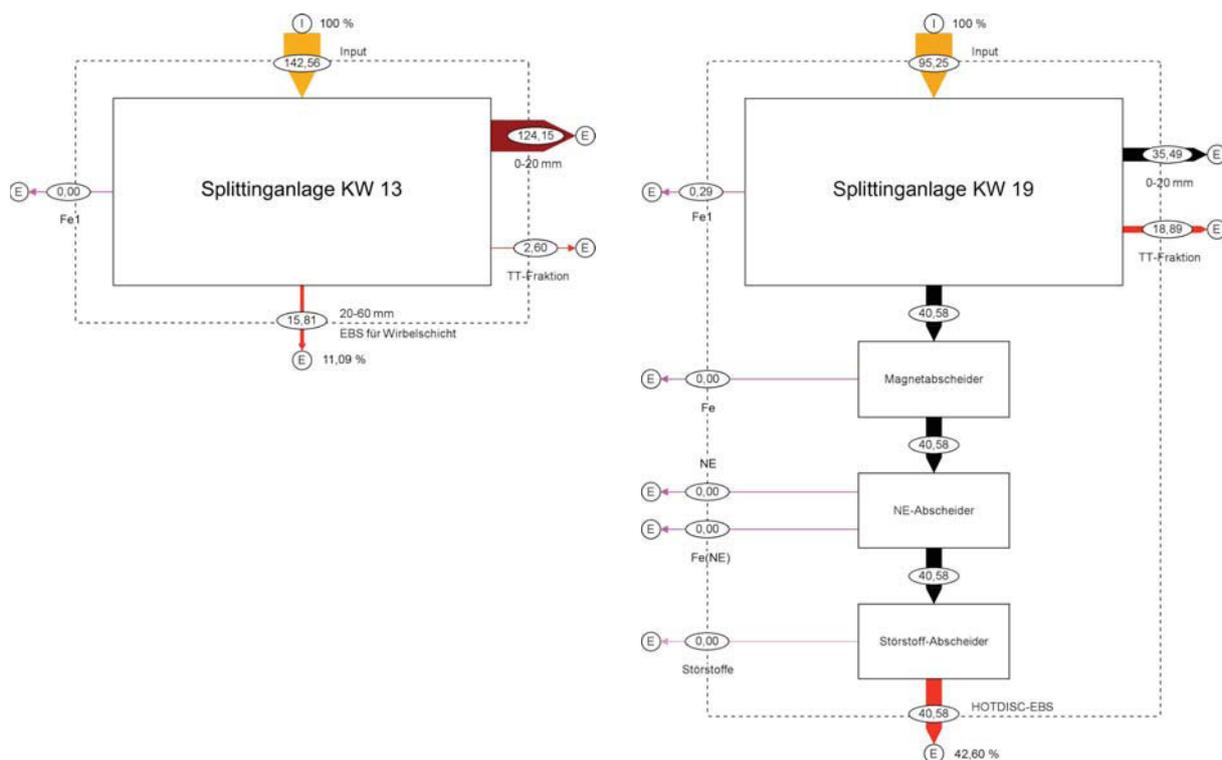


Abbildung 62: Sankey-Diagramme: Blei (Pb). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

6.4.6 Sankey-Diagramme: Störstoffe

Der Störstoffgehalt der Wirbelschichtfraktion 20 – 60 mm war vor dem Umbau der Splittinganlage mit 14,46 % sehr hoch. Daraus ergaben sich folgende Probleme: Einerseits drückt der mineralische Störstoffanteil den Heizwert. Diese Eigenschaft war in der Wirbelschicht zwar durchaus nicht unerwünscht, im Zementwerk ist ein hoher Heizwert aber ein erwünschtes Qualitätsmerkmal. Andererseits sind abgetrennte mineralische Fraktionen günstiger zu entsorgen und ermöglichen bei getrenntem Vorliegen deutliche Kostenreduktionen.

Durch die Installation einer Störstoffabtrennung (= Störstoff-Abscheider) konnte nach dem Umbau der Splittinganlage der Gehalt an Störstoffen auf 3,47 % reduziert werden. Der Stoffstrom Störstoffe in den HOTTDISC-EBS reduzierte sich von 51,44 % auf 27,5 % (vgl. Abbildung 63). Diese deutliche Qualitätsverbesserung in Bezug auf die Störstoffe ist wie oben angeführt sowohl bei Betrachtung des Gehaltes als auch des Stoffstromes erkenntlich.

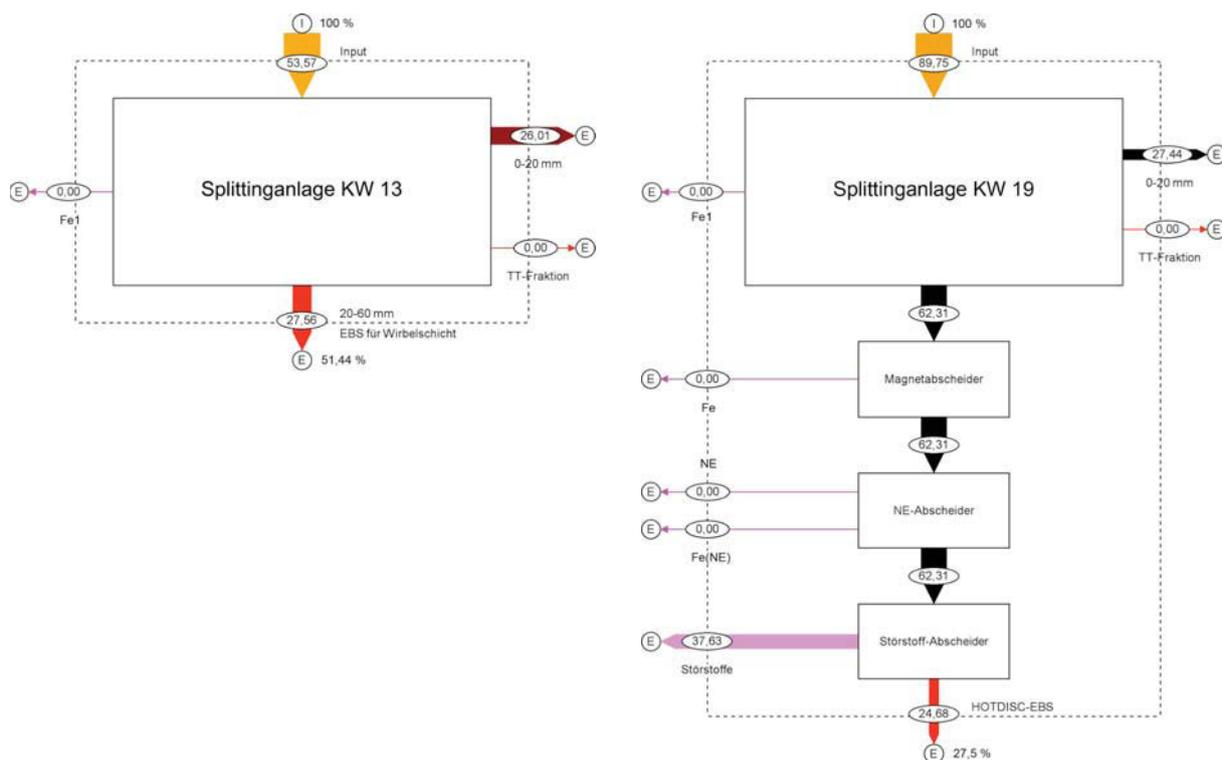


Abbildung 63: Sankey-Diagramme: Störstoffe. Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

6.4.7 Sankey-Diagramme: Chlor

Chlor ist ein bekannter Problemstoff bei der Verbrennung und muss insbesondere beim Einsatz von EBS im Zementdrehrohrofen beachtet werden. Der Chlorgehalt im HOTDISC-EBS änderte sich von 0,43 % auf 0,69 %. Dies war auch aufgrund der Korrelation des Heizwertes mit dem Chlorgehalt zu erwarten. Der Stoffstrom Chlor änderte sich entsprechend von 43,1 % auf 71,28 % (vgl. Abbildung 64). Chlor ist im Wesentlichen an chlorhaltige Kunststoffe (z.B. PVC) gebunden. Der gesteigerte Massenstrom und der verbesserte Heizwert im HOTDISC-EBS sind auch auf den erhöhten Kunststoffanteil zurückzuführen und sind damit die Begründung für den seinerseits gestiegenen Gehalt und Stoffstrom von Chlor. Der festgestellte Chlorgehalt im HOTDISC-EBS ist aber im Vergleich zu anderen EBS-Sorten in der Zementindustrie als akzeptabel zu bezeichnen.

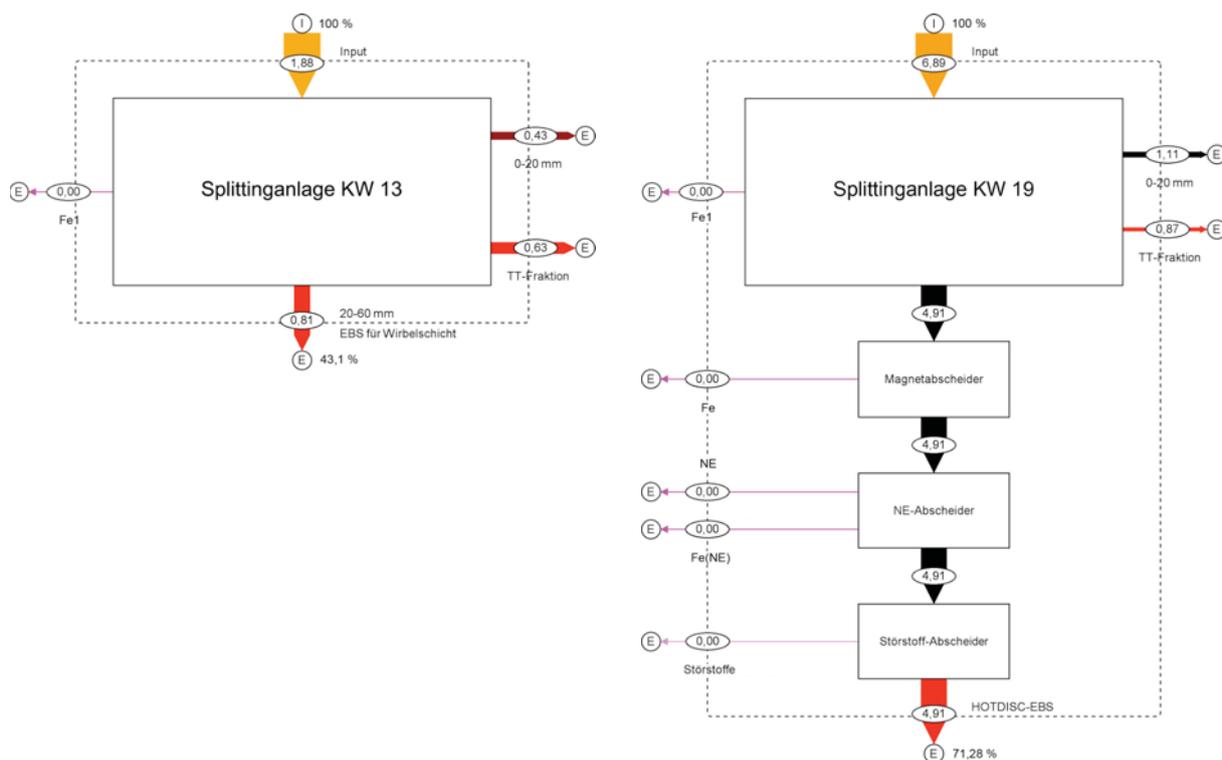


Abbildung 64: Sankey-Diagramme: Chlor (Cl). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

6.4.8 Sankey-Diagramme: Heizwert

Wesentliches Ziel der Anlagenänderung war die Anhebung des Heizwertes auf 14 MJ/kg OS. Die Produktion von EBS für die Wirbelschicht hatte demgegenüber das Ziel, niedrige Heizwerte zu erreichen.¹⁾

Der Heizwert des HOTDISC-EBS konnte von 12,19 MJ/kg OS auf 13,6 MJ/kg OS angehoben werden. Es ist dies eine Steigerung um 11,6 %. Dies entspricht einer Erhöhung des Hestoffstromes von 49,35 % (KW 13) auf 69,18 % (KW 19) (vgl. Abbildung 65).

¹⁾ Ergebnis von Verhandlungen mit der Geschäftsführung der AVE/RVL. Eine Begrenzung des Heizwertes in den Lieferverträgen mit 14 MJ/kg erfolgte 2006.

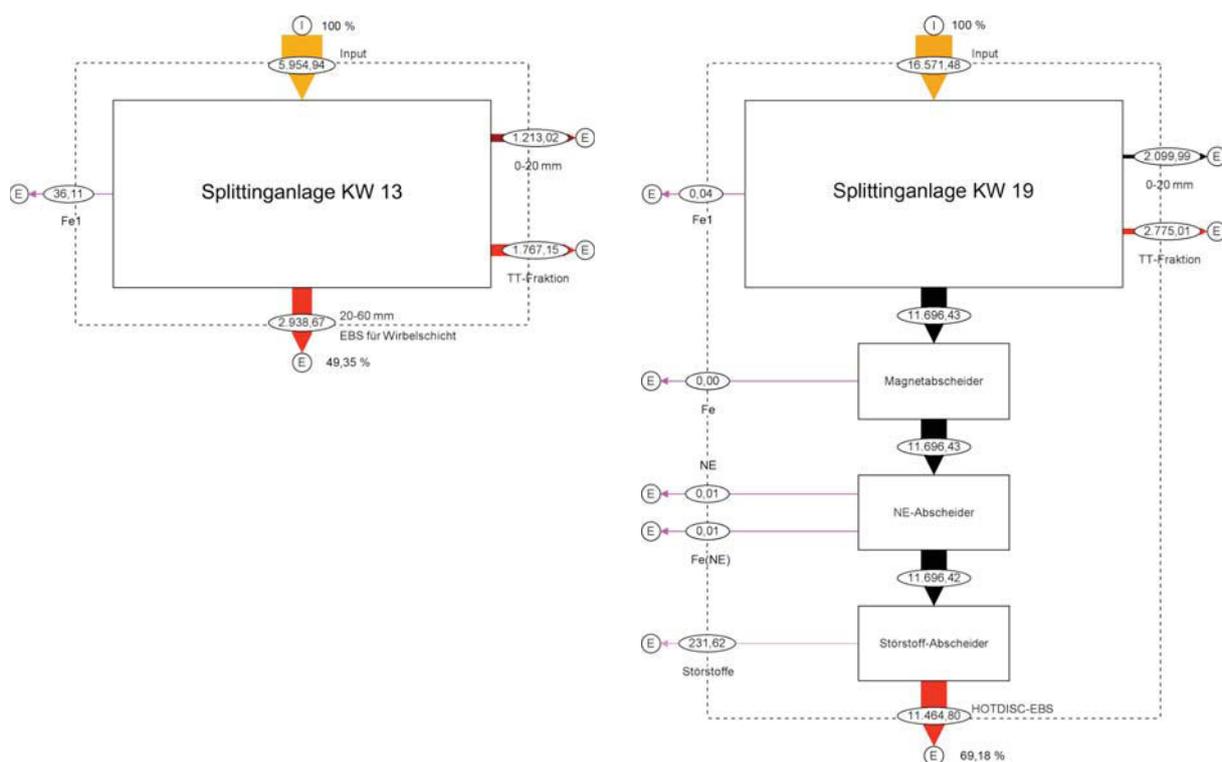


Abbildung 65: Sankey-Diagramme: Heizwert (Hu in GJ). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19

6.5 Vergleich der Prognosewerte mit den Analysewerten

Im Folgenden wird die Eignung der Simulationsrechnung zur Prognose überprüft. Dies erfolgt durch Vergleich der Prognosewerte mit den durch die SFA ermittelten Werte (= Analysewerte nach Umbau, KW 19).

6.5.1 Vergleich der stofflichen Zusammensetzung

In der folgenden Abbildung (vgl. Abbildung 66) wird die Korrelation zwischen Prognose- und Analysewerten grafisch dargestellt. Je näher die einzelnen Parameterwerte sich der eingezeichneten 45°-Geraden annähern, desto höher ist die Übereinstimmung zwischen Prognose- und tatsächlichen Analysewerten. Je weiter sie sich entfernen, desto ungenauer ist die Prognose und desto niedriger ist die Korrelation. Diese Art der grafischen Darstellung gibt demnach einen Überblick über den Zusammenhang Prognose/Analysewerte, zur Beurteilung der Eignung einer Methode ist sie jedoch nicht ausreichend.

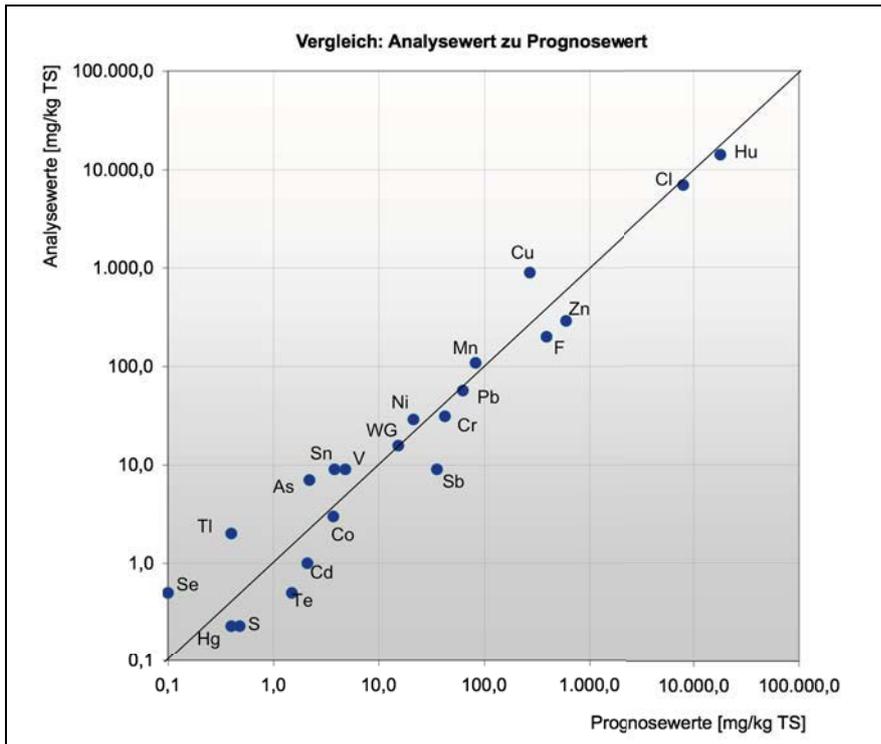


Abbildung 66: Vergleich der Analysewerte zur Simulation

Das folgende Diagramm (vgl. Abbildung 67) stellt für die einzelnen Parameter die prozentuelle Abweichung der Prognosewerte von den Analysewerten dar. Bei 12 von 21 Parametern liegt der Prognosewert höher als der Analysewert.

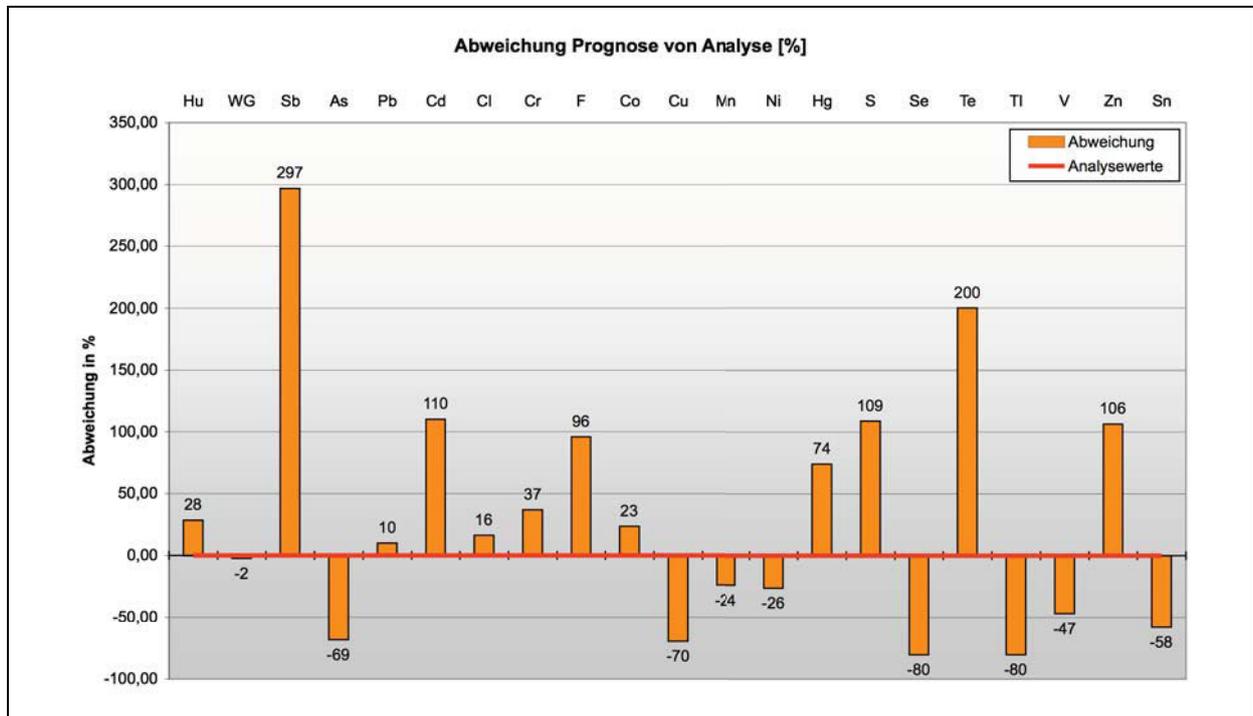


Abbildung 67: Prozentuelle Abweichung der Prognosewerte von den Analysewerten

Im nachfolgenden Diagramm (vgl. Abbildung 68) werden die einzelnen Parameter (Prognose- und Analysewert) den geforderten Grenzwerten (vgl. Kapitel 3.2.1) gegenübergestellt. Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wird der geforderte Grenzwert als 100 % normiert dargestellt.

Es ist einerseits die Abweichung zum geforderten Grenzwert und andererseits die prozentuelle Abweichung der Differenz von Prognose und Analysewert, in Bezug auf den Grenzwert, dargestellt. Diese prozentuelle Abweichung der Differenz könnte als Parameter der „Güte“ oder „Brauchbarkeit“ der Prognosewerte angesehen werden. Eine Abweichung zwischen Prognosewert und Analysewert ist umso akzeptabler, je weiter die Werte vom Grenzwert entfernt sind.

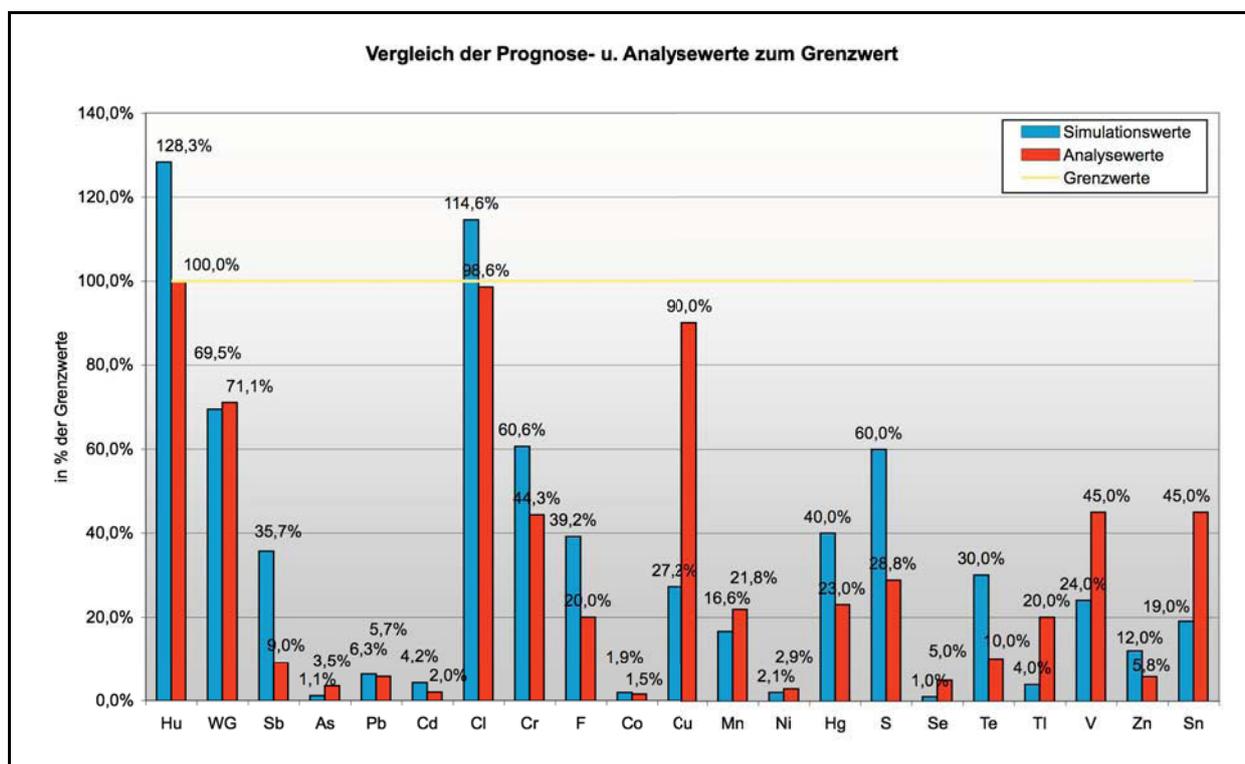


Abbildung 68: Vergleich der Simulations- und Analysewerte zum jeweiligen Grenzwert

Die überwiegende Anzahl der Parameter liegt sowohl als Prognose als auch als Analysewert unter den geforderten Grenzwerten (19 von 21). Die Mehrzahl (15 von 21) liegt sogar unter 50 % des geforderten Grenzwertes.

Die folgende Tabelle 11 klassifiziert die „Güte“¹⁾ der Prognose:

¹⁾ Die Güte beurteilt die Brauchbarkeit der Prognose. Die Prüfung erfolgt durch die Feststellung der Häufigkeit in drei definierten Güteklassen. Die festgelegten Prozentbereiche (< 10 %, 10 – 25 % und < 25 %) beziehen sich auf die Abweichung der Differenz von Prognose- und Analysewerte in Bezug auf den Grenzwert.

Tabelle 11: Güte der Prognose

Klassendefinition der Güte		Häufigkeit	Parameter
Gut	< 10 %	9	WG, As, Pb, Cd, Co, Ni, Se, Zn, Mn,
brauchbar	10 – 25 %	7	Cl, Cr, F, Hg, Te, Tl, V,
schlecht	> 25 %	5	Hu, Sb, Cu, S, Sn

Wie oben ersichtlich, kann die Mehrzahl der prognostizierten Parameter als gut oder brauchbar in Bezug auf den einzuhaltenden Grenzwert bewertet werden. Die Abweichungen bei S und Sn sind in der Praxis wenig relevant. Die Güte der Prognose bei Hu, Sb und Cu ist schlecht. Die Ansätze dieser Parameter im Modell müssten überprüft und angepasst werden. Insgesamt ist aber bei 16 von 21 Parametern, zumindest Brauchbarkeit der Prognosen festzustellen. Betrachtet man nur die Analysewerte, so zeigt sich, dass die Analysewerte von 9 Parametern max. 10 % des geforderten Grenzwertes erreichen. 14 von 21 Parameter liegen bei max. 30 % des Grenzwertes. Dies ist insofern wichtig, als ja beim tatsächlichen EBS die Einhaltung der Grenzwerte sichergestellt sein muss.

6.5.2 Vergleich der Massenströme

Der Vergleich der Massenströme ist in nachstehender Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Vergleich der Massenströme

Fraktion	Simulation	IST aus SFA ¹⁾	Produktion 2007 ²⁾
TT	20,00 %	13,27 %	18,73 %
FF	18,30 %	20,09 %	15,06 %
Fe	3,89 %	1,95 %	3,27 %
NE	1,59 %	0,48 %	0,63 %
SF	5,15 %	3,73 %	3,04 %
HOTDISC	51,07 %	60,48 %	59,27 %
Gesamt	100,00 %	100,00 %	100,00 %

¹ Massenströme der OS aus der SFA KW 19

² Tatsächlich produzierte Massenströme der Splittinganlage Wien des Jahres 2007.

Der Massenstrom der TT-Fraktion wurde unter anderem auf Kosten des HOTDISC-EBS überschätzt. Die Metallanteile wurden in der Simulation deutlich höher berechnet als in der SFA letztendlich festgestellt wurde, während die Feinfraktionen und Schwerfraktionen leicht überschätzt wurden.

Interessant ist der Vergleich der Massenströme aus der Simulation und der SFA mit den tatsächlich produzierten Massenströmen des Jahres 2007¹). Der reale Massenstrom 2007 des HOTDISC-EBS wird durch die SFA (KW 19) gut abgebildet. Im Vergleich zur Simulation besteht eine höhere Abweichung. Die simulierten Massenströme der Fraktionen TT, FF und Fe zeigen gute Übereinstimmung mit den realen Massenströmen 2007. Demgegenüber zeigen die Fraktionen NE und SF bei der Simulation höhere Werte als die realen Massenströme 2007. Es ist zu vermuten, dass in der Simulation tendenziell die Trennschärfe der Verfahrensstufen (Windsichter, Magnetabscheider, Wirbelstromscheider, Störstoff-Abscheider) überschätzt wird. Die reale Trennschärfe ist geringer und führt somit bei den abgetrennten Fraktionen TT, FF, Fe, NE und SF zu höheren Werten als im realen Betrieb. Das Ausbringen an HOTDISC-EBS wird daher bei der Simulation unterschätzt.

¹ Als Vergleichsjahr wurde 2007 herangezogen, da die Umbauarbeiten 2006 stattfand und in diesem Jahr noch keine stabile Produktion gegeben war.

7 Betriebserfahrungen und Problemfelder

Im folgenden Kapitel werden erste Betriebserfahrungen in Bezug auf Herstellung und Verwertung des HOTDISC-EBS sowie relevante Problemfelder diskutiert.

7.1 Lagerverhalten und brandschutztechnische Problematik

Eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von Ersatzbrennstoffen ist die sichere Lagerung. Nur wenn der Ersatzbrennstoff, und dies gilt grundsätzlich für alle Brennstoffe, während Produktion, Zwischenlagerung, Transport und Lagerung vor der energetischen Nutzung ausreichende Sicherheit vor ungeplanter Entzündung bietet, ist er handhabungssicher und als Brennstoff in der Praxis geeignet. Besondere Bedeutung hat das Risiko der Selbstentzündung bei der Lagerung. Mehrere Brandereignisse in der Abfallwirtschaft führten zu großen wirtschaftlichen Schäden und lassen vermuten, dass Ersatzbrennstoffe ein besonderes Risiko aufweisen.

Umfangreiche Untersuchungen zum Selbstentzündungsrisiko wurden für hochkalorische EBS bereits am Beispiel der Anlage ThermoTeam in Retznei durchgeführt [67]. Für mittelkalorischen EBS und insbesondere den HOTDISC-EBS lagen bislang keine Untersuchungen zum Selbsterwärmungsverhalten vor. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der SDAG mit dem Lehrstuhl für Thermoprozesstechnik an der Montanuniversität Leoben (Univ.-Prof. Rauenstrauch), wurde aufbauend auf den o.a. vorliegenden Untersuchungen, das Selbsterwärmungsverhalten des HOTDISC-EBS untersucht. Die praktischen Versuche zur Feststellung der Permeabilität des HOTDISC-EBS wurden in einer Versuchsanlage in Lannach durchgeführt. Nachstehend erfolgt eine Zusammenfassung der Ergebnisse, der detaillierte Bericht befindet sich im Anhang (vgl. Anhang X) [68].

Exotherme chemische und mikrobiologische Reaktionen können zur Selbstentzündung führen, wenn brennbare Materialien unter ungünstigen Bedingungen gelagert werden. Durch die Untersuchung relevanter Parameter kann die Möglichkeit eines Lagerbrandes minimiert werden. Parameter wie die Oxidationskinetik, die Permeabilität, der Lückengrad, der Böschungswinkel sowie die Höhe der Schüttung sind dabei von entscheidender Bedeutung. Die Ergebnisse der Permeabilitätsuntersuchungen wurden in das Simulationsprogramm SEBOSS (SELF-heating Behaviour Of Stored Solids) eingebunden.

Die Permeabilität ist eine Kenngröße, die die Durchströmbarkeit von Schüttgütern charakterisiert. Vor allem im Bereich der Selbsterwärmung ist sie von großer Bedeutung, da sie den Zu- und Abtransport der gasförmigen Reaktionspartner in der Schüttung bestimmt und den Wärmetransport maßgeblich beeinflusst. Die Durchströmbarkeit wird beeinflusst durch die Verdichtung unter Eigenlast, die Korngrößenverteilung sowie ggf. durch die Erweichung der Stoffe. Durch die Permeabilitätsmessungen kann ein Rückschluss auf das Selbsterwärmungsverhalten eines Lagers gezogen werden.

Eine der Versuchsreihen in Lannach wurde mit HOTDISC-EBS aus der Splittinganlage Wien durchgeführt (im Bericht im Anhang X als „Material ohne Feingut“ bezeichnet). Zusätzlich wurde auch eine Versuchsreihe mit anderem mittelkalorischem EBS durchgeführt, aus dem das Feinkorn nicht herausgesiebt wurde. Im Folgenden wird v.a. auf die Ergebnisse des HOTDISC-EBS Bezug genommen.

In der Computersimulation wurde ein Zwischenlager mit 18 m Länge, 8 m Höhe und einem Böschungswinkel von 45 Grad angenommen und berechnet. Ergebnis sind 2-dimensionale Temperaturprofile und Geschwindigkeitsfelder sowie deren zeitlicher Verlauf.

Im HOTDISC-EBS wird die Strömung im Schüttgut durch die sehr niedrige Permeabilität von $3,55 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$ weitgehend verhindert. In Abbildung 69 ist die Feststofftemperatur in Abhängigkeit des Ortes am 6. Tag der Lagerung dargestellt. Die maximale Temperatur liegt hier etwa bei 34 Grad Celsius. Abbildung 70 zeigt die dazugehörigen Geschwindigkeitsfelder.

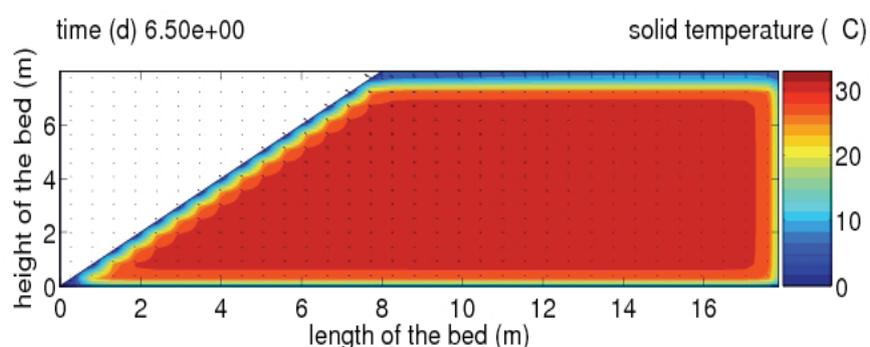


Abbildung 69: Temperaturprofil der Schüttung, HOTDISC-EBS, Tag 6

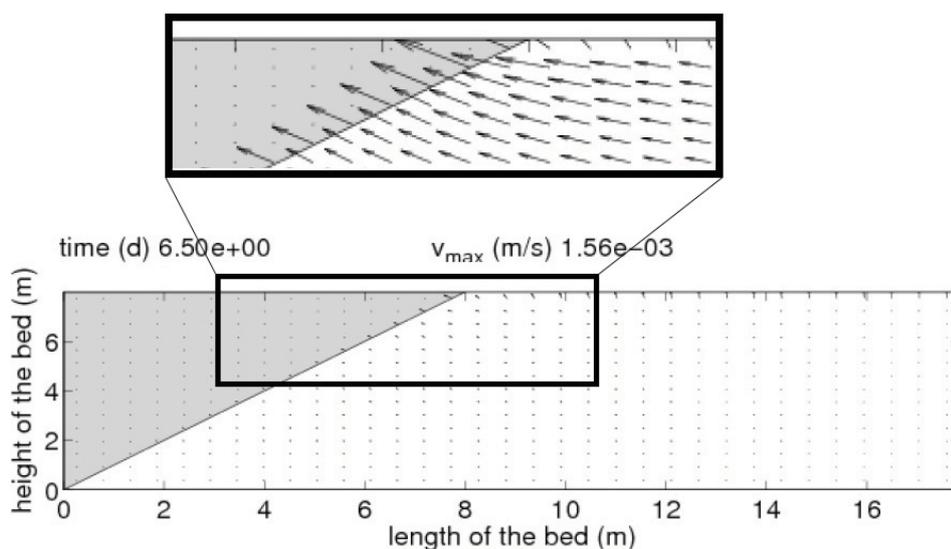


Abbildung 70: Geschwindigkeitsfeld, HOTDISC-EBS, Tag 6

Untenstehende Grafik zeigt das Temperaturprofil des 78. Tages (vgl. Abbildung 71). Vergleicht man diese Abbildung mit jener des 6. Tages, so erkennt man, dass die Schüttung nach innen fortschreitend gleichmäßig abkühlt.

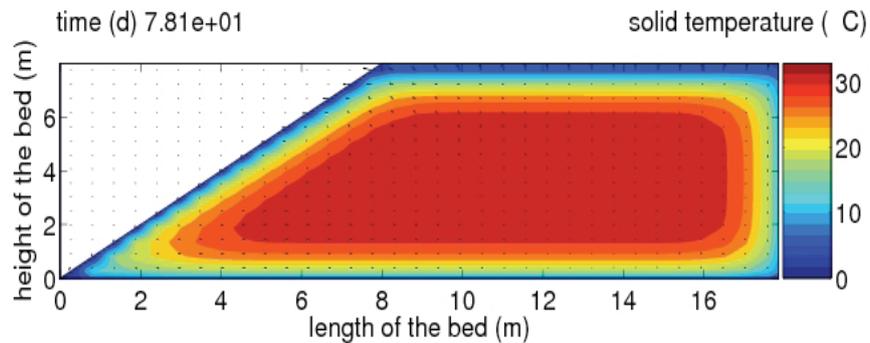


Abbildung 71: Temperaturprofil der Schüttung, HOTDISC-EBS, Tag 78

Untenstehende Grafik (vgl. Abbildung 72) zeigt das Geschwindigkeitsfeld. Die Vergrößerung ergibt hierbei ein interessantes Bild. Die Luft wird unten an der Böschung angezogen und im oberen Bereich der Böschung als auch an der nicht gewinkelten Oberfläche wieder ausgestoßen. Die Maximalgeschwindigkeiten haben mit der Zeit abgenommen und sind am 78. Tag bereits um einiges geringer geworden.

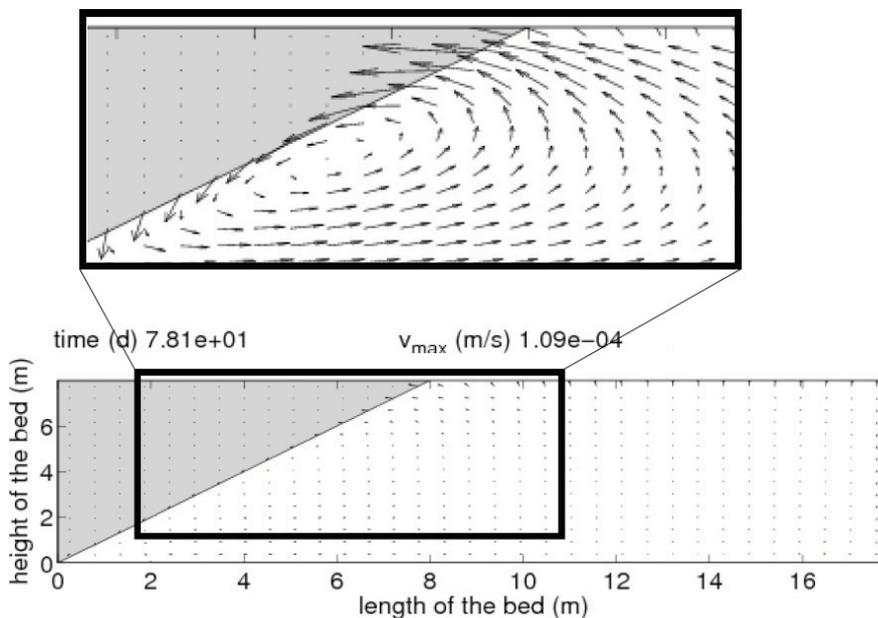


Abbildung 72: Geschwindigkeitsfeld, HOTDISC-EBS, Tag 78

Abbildung 73 zeigt den zeitlichen Verlauf der maximalen Feststofftemperatur in der Schüttung. Es ist zu sehen, dass sich die maximale Temperatur ca. am 60. Tag einstellt.

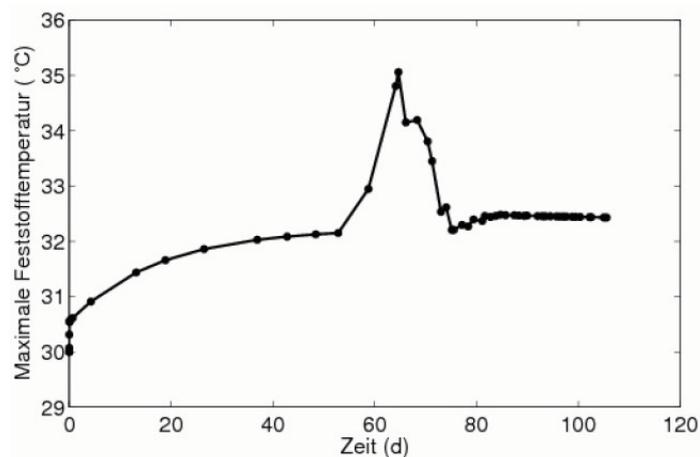


Abbildung 73: Zeitlicher Verlauf der maximalen Temperatur in der Schüttung von HOTDISC-EBS

Der Vergleich mit den Untersuchungen von hochkalorischem EBS bei ThermoTeam [67] [69] zeigt, dass die Permeabilität im HOTDISC-EBS um rund eine 10er-Potenz niedriger liegt als im hochkalorischen EBS. Für hochkalorischen feinkörnigen EBS zeigt sich ein sehr unterschiedliches Bild im Vergleich zu den Simulationsergebnissen des HOTDISC-EBS. Beim hochkalorischen feinkörnigen EBS kann durch die höhere Permeabilität das Schüttgut besser mit gasförmigen Reaktionspartnern versorgt werden und es bilden sich im Randbereich der Böschung Bereiche mit höherer Temperatur (vgl. Abbildung 74 und Abbildung 75).

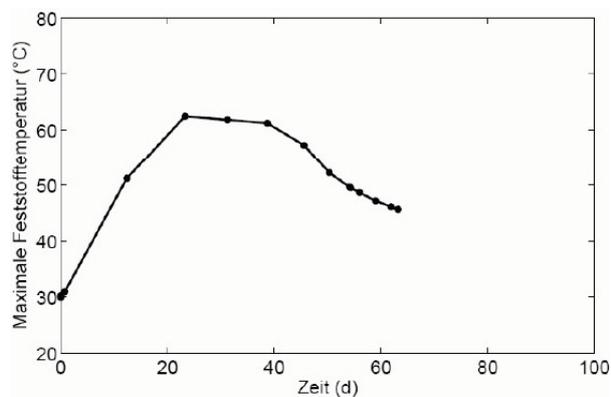


Abbildung 74: Zeitlicher Verlauf der maximalen Temperatur in der Schüttung von hochkalorischem feinkörnigen EBS

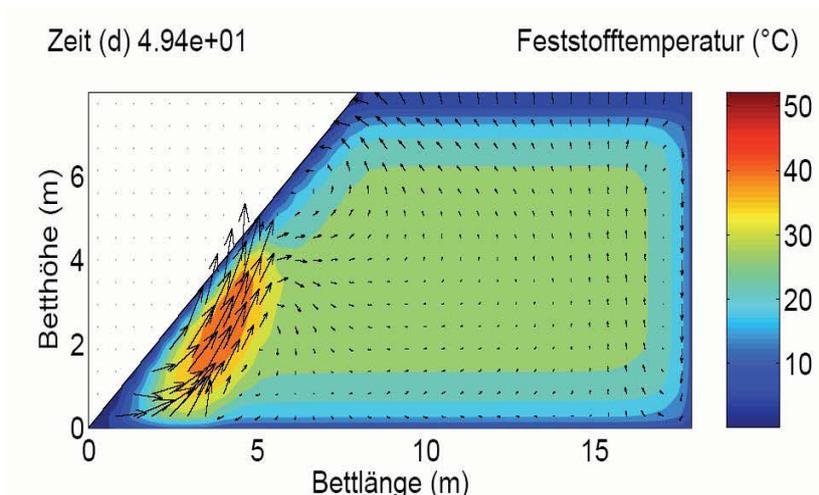


Abbildung 75: Feststofftemperatur und Geschwindigkeitsfeld von hochkalorischen und feinkörnigen EBS im Lager nach 7 Wochen

Zusammenfassend zeigt sich, dass der untersuchte HOTDISC-EBS sehr schlecht durchströmbar ist. Gründe dafür sind vermutlich der hohe Anteil an 2-dimensionalen Körnern (z.B. Folien), sowie die durch das Eigengewicht verursachte Verdichtung der Lagerschüttung.

In der Computersimulation zeigten sich nur minimale Temperatursteigerungen, die durch mikrobiologische Reaktionen hervorgerufen wurden. Man kann davon ausgehen, dass durch die geringe Steigerung der Temperatur keine weiteren exothermen Reaktionen induziert werden. Dementsprechend ist zu schließen, dass die Energie, die durch den Abbau biogener Substanzen entsteht, nicht ausreicht um eine dauerhafte Selbsterwärmung zu induzieren.

Die Wahrscheinlichkeit einer Selbstentzündung ist beim HOTDISC-EBS bei den untersuchten Rahmenbedingungen als sehr gering einzustufen. Jedenfalls liegt sie deutlich unter der, des bereits früher untersuchten, feinkörnigen hochkalorischen EBS. Das Brandrisiko, das von externen Zündquellen ausgeht, ist jedenfalls höher zu bewerten als das Selbstentzündungsrisiko des HOTDISC-EBS.

7.2 Förder- und Einbringfähigkeit

Parallel zur Entwicklung und praktischen Umsetzung der Produktion des HOTDISC-EBS wurden mehrere Versuche durchgeführt, um die Möglichkeiten und Grenzen des EBS-Einsatzes in der HOTDISC zu testen. Ziele der nachstehend beschriebenen Versuche waren vorrangig die Untersuchung der Förder- und Einbringfähigkeit sowie die Erhöhung der Durchsatzleistung in der HOTDISC.

Folgende Versuche wurden 2005 – 2007 durchgeführt:

- **EBS mit geringerer Korngröße**

Feiner aufbereitetes Material (HOTDISC-EBS nachzerkleinert) wurde versuchsweise geliefert und verbrannt. Es handelte sich um einige LKW-Fuhren mit Körnungen < 20 mm, < 40 mm und < 60 mm. Im Vergleich mit dem Material < 80 mm zeigten sich keine signifikanten Vorteile bei Förderung oder Verbrennung.

- **EBS mit höherer Korngröße**

Rund 50 t Material mit größerer Korngröße wurden getestet (vgl. Abbildung 76: Absiebung 120 mm). Es zeigten sich dabei folgende Auswirkungen:

1. Die Güte der Abscheidung von Metallen und Störstoffen in der Splittinganlage sank deutlich.
2. Der Anteil von Bändern und länglichen Anteilen stieg deutlich und führte zu Problemen in der Fördertechnik (Verwicklungen).
3. Die verringerte Gleichmäßigkeit bzw. schlechtere Homogenität erhöhte die Wahrscheinlichkeit von Störungen in der Förderung und senkte damit die Durchsatzleistung in der HOTDISC (schlechterer Ausbrand durch geringere Oberfläche und größere massive Teile, geringeres Schüttgewicht).

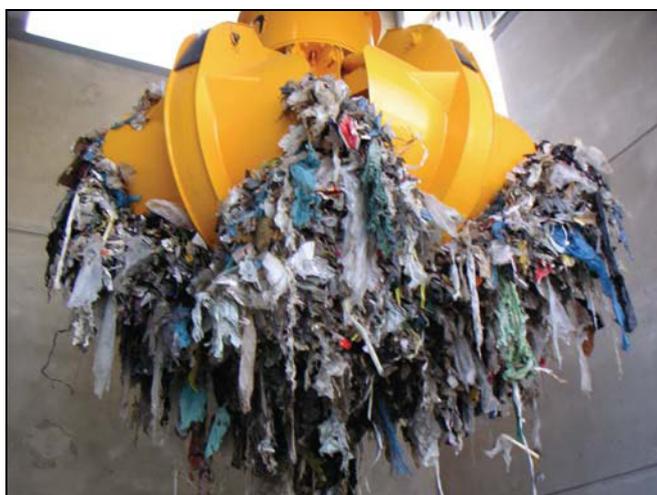


Abbildung 76: Krangreifer mit grobem EBS (Absiebung 120 mm)

- **HOTDISC-EBS in Kleinballen**

Die HOTDISC ermöglicht prinzipiell auch die Aufgabe von grobstückigem Material. Durch einen Versuch sollte die Aufgabe und Verbrennung von Ballen getestet werden. Die geometrischen Abmessungen sind durch das Klappensystem vor der HOTDISC mit ca. 45 x 80 x 80 cm begrenzt. Übliche quaderförmige Ballen, wie sie in Abfallbehandlungsanlagen hergestellt werden, haben Abmessungen von 80 x 80 x 80 cm bis 120 x 120 x 150 mm und wären daher für das Klappensystem zu groß.

Es wurden daher in der Splittinganlage Wien Ballen produziert, die maximal 45 x 80 x 80 cm aufwiesen. Dazu wurde die Ballenpresse umgebaut (Kanalquerschnitt auf 80 x 80 cm). Zusätzlich mussten die Ballen foliert werden (Vorgabe des Zementwerkes, um die Verunreinigungen bei der Lagerung und der Manipulation zu minimieren). Dies erfolgte durch eine mobile Ballenfoliermaschine (vgl. Abbildung 77).



Abbildung 77: Folierung durch mobile Ballenfoliermaschine (1), folierte Ballen (2), Ballen am Förderband zur HOTDISC (3)

Die Formhaltigkeit der Ballen stellte dabei ein großes Problem dar, da durch die Schichtung der überwiegend flächigen Fraktionen und durch die zu geringe Ballendimension in einer Raumrichtung ungünstige Kraftverteilung und die zu geringe innere Reibung die Ballen die Tendenz aufweisen, sich einer „Kugelform“ anzunähern.¹⁾ Jede Manipulation verstärkte den negativen Effekt, sodass es einen hohen Aufwand benötigte, um eine ausreichende Anzahl an geeigneten Ballen für den Verbrennungsversuch bereitzustellen. Die hergestellten Ballen (ca. 2000 Stk. zu je ca. 40 kg) wurden zu Paketen (je 4 Stk.) verschnürt, um sie transportfähig zu machen. Im Werk Rohoznik erfolgte die einzelne Aufgabe auf das Reifenfördersystem. Folgende Erkenntnisse konnten hierbei gewonnen werden:

1. Die Produktion von Kleinballen ist extrem aufwändig und teuer.
2. „Flache“ Ballen sind nicht formhaltig.
3. Der Manipulationsaufwand ist sehr hoch, da die Ballen nur ca. 40 kg schwer sind. Für 1 t sind bei der Aufgabe somit 25 Ladevorgänge nötig.
4. Die Förderung und Beschickung der HOTDISC mit Ballen ist ähnlich wie bei Altreifen grundsätzlich möglich.

¹ Untersuchung der Problematik und Ursachen gehen auf einen internen Forschungsbericht zurück.

5. Die Verbrennung der Ballen in der HOTDISC ist unvollständig. Erhöhte CO-Werte lassen den sog. „Telefonbucheffect“ vermuten. Innerhalb der Ballen besteht durch die Luftpolster hohe Isolation. Die Verbrennung erfolgt nur an der kleinen Oberfläche der Ballen. Der Ausbrand ist nicht gegeben.

- **HOTDISC-EBS in Rundballen**

Mittels mobiler Wickelmaschine wurden in der Splittinganlage Wien Rundballen produziert. Durch einen Versuch sollte getestet werden, ob diese Rundballen als „Notfalllager“ geeignet sind. Es ging daher nicht um die Verbrennung (es handelte sich um den normalen HOTDISC-EBS) sondern um das Handling. Die Ballen wurden im Werk Rohoznik gestapelt, mittels Stapler und spezieller Rundballenzange entpackt und in den Tiefbunker eingebracht. Die Trennung von Schüttgut und Wickelfolie erfolgte ohne Probleme. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Produktion, der Transport, die Zwischenlagerung und die Aufgabe in den Tiefbunker des Zementwerkes praktikabel ist und die Rundballen als „Reservelager“ geeignet sind.

Aufgrund der durchgeführten Versuche wird überlegt, die Korngröße des HOTDISC-EBS etwas zu erhöhen (auf ca. 100 – 120 mm) und damit gröberes Material einzusetzen. Im Vergleich zu Schüttgut führte die Herstellung und thermische Verwertung von Ballen zu großen Problemen, sodass von einem Einsatz verpresster Ersatzbrennstoffe Abstand genommen wurde.

7.3 Anlagenumbau parallel zur bestehenden Produktion

Eine besondere Herausforderung beim Anlagenumbau war die Anforderung, die Produktion der Splittinganlage Wien auch während der Umbauarbeiten weitgehend aufrechtzuerhalten. Lediglich ein zweiwöchiger Produktionsstillstand wurde eingeplant. Ansonsten erfolgten die Arbeiten parallel zur Produktion, mit den Schwerpunkten in der Nacht und am Wochenende.

Ein besonderes sicherheitstechnisches Risiko stellten dabei die Schweißarbeiten dar. Um dieses Risiko zu minimieren, wurden Vorkehrungen (Löschgeräte, Brandwachen) getroffen.

Entscheidende Bedeutung für das zügige Fortschreiten der Arbeiten hatten dabei kurzfristige Lager für Input- und Outputfraktionen am Standort, um Platz für die Bauarbeiten zuschaffen.

7.4 Logistische Probleme

Viele Probleme in der Anfangsphase des HOTDISC-EBS-Einsatzes waren auf logistische Gründe zurückzuführen. Einige konnten kurzfristig gelöst werden, andere waren auf Konzeptions- oder Planungsfehler zurückzuführen und bedurften aufwändigerer Nachbesserungen.

- **Dimensionierung der Übernahmestation im Zementwerk Rohoznik**

Der Tiefbunker für die Übernahme von HOTDISC-EBS ist unterdimensioniert und fasst lediglich 1 – 2 LKW-Fuhren. Erst nach Entleerung durch den Kran kann dieser Übernahmestapel wieder befüllt werden. Während die Entladung eines Walkingfloor-LKW lediglich ca. 20 min benötigt, ist die Entleerung des nächsten LKW erst nach ca. 2 Stunden möglich, da die Umlagerung durch den Kran entsprechend länger dauert. Stehzeiten von LKW sind die Folge.

Als Lösung dieses Problems wurde 2007 eine zusätzliche Übernahmestation errichtet, um die gleichzeitige Entladung von Fahrzeugen zu ermöglichen und eine redundante Beschickung zu erreichen.

- **Kranprobleme**

Der Kran der Übernahmestation stellt einen Engpass dar. Bei Ausfall ist die Beschickung der HOTDISC mit HOTDISC-EBS unterbrochen. Die zusätzliche Übernahmestation reduziert diese Ausfallszeiten.

- **Abstimmung der Lieferpläne auf die Bunkerstände**

Die Kommunikation zwischen Zementwerk Rohoznik und der Logistikabteilung des Lieferanten (SDAG) war vielfach mangelhaft. Fehlerhafte Mitteilungen über Bunkerstände führten zu unregelmäßigen Lieferintervallen und laufenden Änderungen in den vereinbarten Lieferplänen.

- **Einschleppung von Störstoffen während der Logistikkette**

Einerseits erfolgte der Störstoffeintrag in den Lagern der Splittinganlage Wien, da das Bewusstsein der Mitarbeiter über die Qualitätsanforderungen anfangs noch nicht ausreichend vorhanden war. Mehrfach wurden im HOTDISC-EBS Teile von Gewerbeabfall aus dem Inputbereich der Splittinganlage entdeckt. Durch Schulung der Mitarbeiter konnte das Problem letztlich behoben werden. Andererseits traten auch einige Fälle auf, bei denen der Störstoffeintrag auf nicht vollständig gereinigte Walkingfloor-LKW zurückzuführen war. Kontrolle vor jeder Beladung und Information der Transporteure lösten auch dieses Problem.

- **Einfluss der Freilagerung**

Unregelmäßige Abnahme führte zu größeren Lagermengen in den Freilagern. Diese konnten erst langsam wieder abgebaut werden. Durch Niederschläge erfolgte eine negative Beeinflussung der Qualität. Im Oberflächenbereich des Schüttguthaufens stieg der Wassergehalt deutlich an und senkte dadurch den Heizwert, was wiederum zu Qualitätsreklamationen führte. Bezogen auf das gesamte Schüttgutlager ist aber

eine negative Wasserbilanz nachzuweisen. Bei längerer Lagerung (> 2 Monate) sind Trocknungseffekte aufgrund der Selbsterwärmung erkennbar.

- **Teilweise stark schwankende Abnahmemengen**

Ungeplante Stillstände der Drehrohrofenanlage und der Förderanlagen im Zementwerk führten zu sehr stark schwankenden Abnahmemengen. Kurzfristige Lieferstörnungen oder -erhöhungen waren bzw. sind üblich. Verbesserte Kommunikation der Logistikverantwortlichen soll höhere Gleichmäßigkeit und Planbarkeit der Lieferungen und damit Logistikoptimierung sicherstellen.

7.5 Interessenskonflikt zwischen Produzent und Verwerter

Entsorgungsunternehmen, als Produzent und Lieferant von EBS, und Zementunternehmen, als EBS-Verwerter, haben teilweise unterschiedliche Zugänge, Strategien und Interessen in Bezug auf EBS (vgl. Tabelle 13). Die Interessen sind zum Teil sehr gegensätzlich und werden in der Praxis dadurch verstärkt, dass beide Seiten aus völlig unterschiedlichen Branchen mit unterschiedlicher Entwicklung kommen. Nur wenn es gelingt, die gemeinsamen Schnittstellen so zu gestalten und zu leben, dass die beiderseitigen Interessen ausreichend gewahrt bleiben, kann eine dauerhaft erfolgreiche Geschäftsbeziehung entstehen.¹⁾

Tabelle 13: Gegensätzliche Interessen des EBS-Verwerters und EBS-Lieferanten

Interessen der Zementwerke als EBS-Verwerter	Interessen des Entsorgungsunternehmens als EBS-Lieferant
<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst hoher Heizwert, • möglichst geringer Chlorgehalt, • geringe Korngröße und gleichmäßige Kornverteilung, • Störstofffreiheit, • möglichst hohe Gleichmäßigkeit, • Lieferungen „just in time“ nach Bedarf, • minimale Zwischenlagermengen, • möglichst wenig Logistikverantwortung, • möglichst hoher Preis (Zuzahlung). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlerer Heizwert, möglichst nahe dem durchschnittlichen Heizwert der großen und gut verfügbaren Abfallströme aus kommunaler und gewerblicher Sammlung (Siedlungsabfälle), • möglichst große Korngrößen und Toleranz von Überkorn, • hohe Störstofftoleranz durch Abnehmer, • Zulässigkeit von höheren Chlorwerten (Spitzen und durchschnittliche Chlorwer-

¹ Konfliktpotential und unterschiedliche Interessen zwischen Entsorgungsunternehmen, EBS-Produktionsunternehmen (ThermoTeam) und einem internationalen Zementproduzenten (Lafarge Perlmoo-ser AG) wurden in einer Projektarbeit des International Business College Hetzendorf untersucht. [70]

te), die in gut verfügbaren Abfällen auftreten können,

- gleichmäßige Abnahme, auch im Fall von kurzfristigen Anlagenproblemen,
- ausreichend groß dimensionierte Zwischenlager beim Abnehmer,
- geringe Aufbereitungstiefe,
- geringen Aufwand bei Qualitätssicherung,
- günstiger Preis, im Idealfall die Bezahlung der Energie (Erlöse).

Basis für den Interessensausgleich ist ein detaillierter Liefervertrag, der möglichst viele Punkte eindeutig regelt. Viele Probleme in der Praxis können aber bei Vertragsabschluss nicht vorhergesehen werden und sind daher in einem Vertrag im Vorhinein nicht regelbar. Reine Lieferanten-/Abnehmerbeziehungen haben sich daher im Bereich EBS als nicht besonders erfolgreich und dauerhaft herausgestellt. Zwei Strategien konnten in den letzten Jahren die beschriebene Problematik gut lösen:

1. Gesellschaftsrechtliche Verschränkung mit Entsorgungsunternehmen

Durch den Betrieb eines gemeinsamen EBS-Produktionsunternehmens mit einem Entsorgungsunternehmen und einem Verwerter besteht hohes Interesse, anstehende technische und wirtschaftliche Probleme gemeinsam und langfristig zu lösen.¹⁾

2. Eigene Beschaffungsorganisation der Zementunternehmen

Im gegenständlichen Fall erfolgt der Einkauf der EBS für mehrere Zementwerke, die Organisation der Beschaffung und des Einsatzes durch ein spezialisiertes Unternehmen, das zu 100 % im Eigentum des Zementunternehmens steht. Für die Versorgung des Zementwerkes Rohoznik ist innerhalb des Holcim Konzerns die Tochterfirma ecorec Austria GmbH verantwortlich. Kommunikation zwischen Entsorger und Zementwerk, Logistik, Mengenplanung, Qualitätssicherung und wirtschaftliche Fragestellungen können somit durch eine spezialisierte und mit dem Abfallmarkt vertraute Organisation abgewickelt werden.

¹ Beispiel: ThermoTeam Alternativbrennstoff Verwertungs GmbH, Beteiligung durch Lafarge Perlmoo-ser AG mit 25 %.

8 Abfallwirtschaftliche Relevanz des HOTDISC-EBS

So wie die Abfallwirtschaft verschiedene Teilbereiche abdeckt, sind auch unterschiedliche Aspekte des HOTDISC-EBS von abfallwirtschaftlicher Bedeutung. Teilbereiche der Abfallwirtschaft sind Bereiche der Naturwissenschaften (z.B. Eigenschaften und Verhalten von Abfällen), der Technik (z.B. Verfahren und ihre anlagentechnische Umsetzung), der Ökonomie (z.B. wirtschaftlicher Nutzen und Kosten von Abfallbehandlungsverfahren), Recht (z.B. genehmigungsrechtliche Fragestellungen) und Sozialwissenschaft (z.B. Akzeptanz von abfallwirtschaftlichen Maßnahmen in der Gesellschaft).

Bei der Frage nach der abfallwirtschaftlichen Relevanz sind insbesondere die aktuellen Fragestellungen oder Probleme der Abfallwirtschaftsbranche zu berücksichtigen. Aktuell sind folgende Themen in öffentlicher und/oder wissenschaftlicher Diskussion.

- **Ressourcen**

Rohstoff und Energieknappheit sind nach Jahren niedriger Rohstoff- und Brennstoffpreise durch Anziehen der Nachfrage und damit verbunden stark steigende Preise ins öffentliche Bewusstsein getreten. Die Ressource *Energie* hat auch die politische Diskussionsebene erreicht. Die Bewertung des HOTDISC-EBS in Bezug auf Energie ist daher nahe liegend.

- **Klimarelevanz**

CO₂-Ausstoß, Treibhauseffekt und Klimaerwärmung sind ebenfalls Themen, die stark in der Öffentlichkeit und Wissenschaft diskutiert werden. Dabei kann die Abfallwirtschaft einen Beitrag zur Reduktion klimarelevanter Stoffe leisten [71, S. 381]. Die Bewertung des HOTDISC-EBS in Bezug auf CO₂-Emissionen ist daher jedenfalls sinnvoll.

- **Wirtschaftlichkeit**

Jedes abfallwirtschaftliche Verfahren muss sich im wirtschaftlichen Wettbewerb bewähren. Technische Innovationen, wie das neue Verfahren der HOTDISC, sind nur dauerhaft wenn sie letztendlich einen wirtschaftlichen Nutzen erbringen. In diesem Fall muss das jeweilige Abfallbehandlungsverfahren dem wirtschaftlichen Vergleich mit alternativen Verfahren standhalten.

Die Bedeutung eines Abfallbehandlungsverfahrens lässt sich aus seinem Einfluss auf die Abfallströme erkennen. Die überregionale, regionale oder unternehmensspezifische Auswirkung auf Massenströme ist dabei ein Maß zur Beurteilung.

Die Frage nach der abfallwirtschaftlichen Relevanz des HOTDISC-EBS wird daher auf folgende Teilbereiche gerichtet:

- Energetische Relevanz: diese wird mittels einer Energiebilanz bewertet.
- Klimarelevanz: diese wird durch die CO₂-Bilanz bewertet.
- Ökonomische Relevanz: diese wird durch einen wirtschaftlichen Vergleich und eine ökonomische Bewertung untersucht.

Es gibt neben diesen Aspekten sicherlich noch weitere. Oben genannte werden aber als entscheidend im aktuellen abfallwirtschaftlichen Umfeld angesehen.

8.1 Energiebilanz

Der HOTDISC-EBS aus der Splittinganlage Wien wird zur Substitution von Kohle im slowakischen Zementwerk Rohoznik als Energieträger eingesetzt.

Nachfolgend werden der Energiefluss im Lebenszyklus des Ersatzbrennstoffes und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen dargestellt. Dabei werden die Sammlung, die Transporte, die Aufbereitung und die energetische Verwertung miteinbezogen und bewertet. Es werden hier nur die Ergebnisse dargestellt, die genaue Berechnung befindet sich im Anhang (vgl. Anhang VII.A).

Folgende Teilprozesse müssen bilanziert werden:

- **Sammlung**
Bei der Sammlung werden die für eine Sammel-Tour sowie die Anlieferung des Materials an die Splittinganlage zurückgelegten Kilometer und der damit verbundene Kraftstoffverbrauch auf die gesammelte Menge bezogen. Daraus werden Energieverbrauch und CO₂-Emissionen für die Sammlung pro Kilogramm errechnet.
- **Aufbereitung**
In diesem Punkt wird der Energieaufwand pro Kilogramm zur Aufbereitung des Ersatzbrennstoffes in der Splittinganlage aus dem Durchsatz und dem Energieverbrauch der Anlage berechnet.
- **Transport**
Im Bereich des Transportes wird der Energieaufwand für den Transport von der Splittinganlage zur Verwertungsstelle (= Zementwerk) berücksichtigt. Auch hier werden der Energieaufwand und die CO₂-Emissionen pro Kilogramm berechnet.
- **Verwertung**
Die Verwertung des Ersatzbrennstoffes erfolgt in einem Zementwerk. Dabei wird die vom Ersatzbrennstoff bereitgestellte Energie zur Herstellung von Klinker verwendet. Teilweise geht die Energie jedoch auch in Form von Wärme (Wärme des Klinkers und des Abgases, Wärmeverlust über die Wände, etc.) verloren. Unter Berücksichtigung

dieser Verluste wird die Produktion von Klinker mit Hilfe der Zufeuerung von Ersatzbrennstoff dargestellt.

Es wird die Verwertung eines Kilogramms HOTDISC-EBS bilanziert und der Energiefluss dargestellt. Um eine derartige Darstellung zu ermöglichen, wird angenommen, dass der Anteil des HOTDISC-EBS an den Verlusten gleich groß ist, wie dessen Anteil an der Energiebereitstellung, nämlich 17 %. Aus nachstehender Tabelle 14 wird ersichtlich, dass 50 % der im HOTDISC-EBS gespeicherten Energie zur Produktion des Klinkers genutzt werden und schlussendlich in diesem chemisch gebunden sind. Der Energieaufwand für Sammlung, Herstellung des EBS (Splitting) und Transport zum Verwerter ist im Vergleich zum Energieinhalt des HOTDISC-EBS und auch zum Nutzen (Energieanteil der tatsächlich im Klinker gebunden wird) als gering zu bezeichnen, da er nur wenige Prozent (2,2 %) beträgt.

Tabelle 14: Datenmaterial zur Energiebilanzierung des HOTDISC-EBS

Heizwert HOTDISC-EBS	14.000	kJ/kg HOTDISC-EBS		
Energieaufwand Sammlung	168	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	1,2 %
Energieaufwand Splitting	14	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	0,1 %
Energieaufwand Transport	127	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	0,9 %
Produktion des Klinkers	6.993	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	50,0 %
Restwärme Klinker	357	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	2,6 %
Trocknung des Rohmehls	413	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	3,0 %
Verluste Gase	3.423	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	24,5 %
Verluste Strahlung/Konvektion	2.506	kJ/kg HOTDISC-EBS	entspricht	17,9 %

In Abbildung 78 sind diese Ergebnisse grafisch dargestellt.

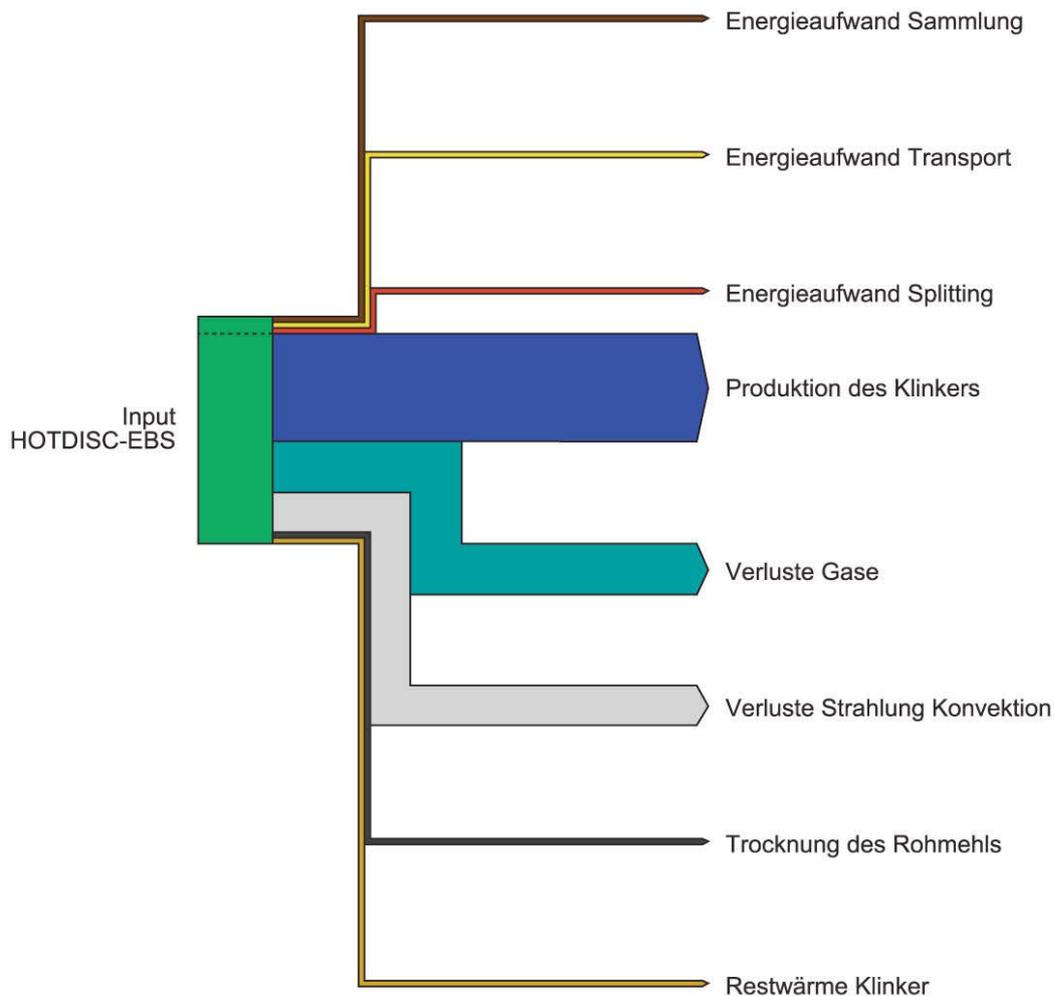


Abbildung 78: Sankey-Darstellung der Energiebilanz des HOTDISC-EBS-Einsatzes im Zementwerk

8.2 CO₂-Bilanz

Neben der Energie werden in diesem Kapitel auch die CO₂-Emissionen des HOTDISC-EBS bilanziert. Es wird dabei der CO₂-Ausstoß der Teilprozesse (vgl. Kapitel 8.1) berechnet. Die detaillierte Berechnung befindet sich im Anhang (vgl. Anhang VII.C).

Die Ergebnisse der CO₂-Bilanzierung sind in Tabelle 15 zusammengefasst. Dabei wurden die gesamten CO₂-Emissionen auf dem Weg zur und bei der Verwertung pro Kilogramm HOTDISC-EBS ermittelt.

Tabelle 15: Ergebnisse der einzelnen Bilanzierungsschritte der CO₂-Bilanz

Position	Ursprung	Wert	Dimension	entspricht
Sammlung		0,01415	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS	1,31 %
Aufbereitung		0,00198	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS	0,18 %
Transport		0,00950	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS	0,88 %
Verwertung	biogen	0,54800	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS	50,57 %
	fossil	0,51000	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS	47,06 %
Summe		1,08363	kg CO₂/kg HOTDISC-EBS	100,00 %

Auffällig am Ergebnis der CO₂-Bilanz ist vor allem, dass knapp über 50 % der gesamten CO₂-Emissionen biogenen Ursprungs sind (vgl. Kapitel 8.3).

Die CO₂-Emission von Sammlung, Herstellung des EBS (Splitting) und Transport zum Verwerter ist, mit nur 2,37 % der Gesamtemission, gering und im Vergleich zu den Emissionen bei der Verwertung zu vernachlässigen.

Das Ergebnis von Tabelle 15 ist grafisch in Abbildung 79 dargestellt.

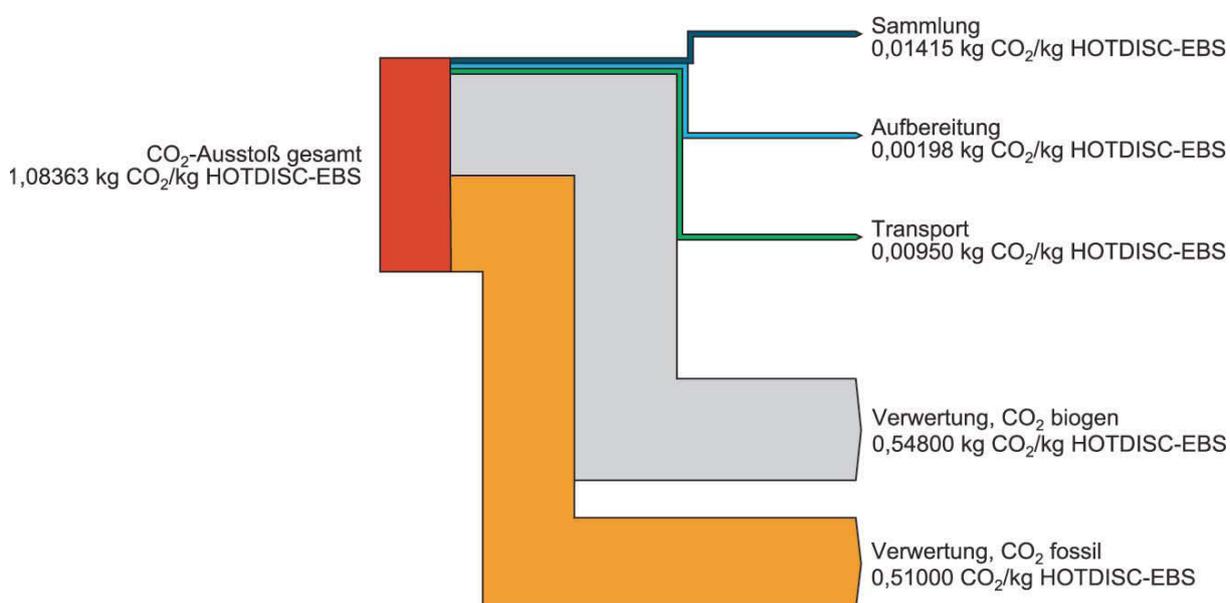


Abbildung 79: Sankey-Darstellung der CO₂-Bilanz des HOTDISC-EBS-Einsatzes im Zementwerk

8.3 Biogener Anteil

Durch die Einführung des Emissionshandels [72] [73] mit CO₂-Zertifikaten kommt der Bestimmung des biogenen Anteils von Brennstoffen große Bedeutung zu. Im Jänner 2005 wur-

de mit dem Emissionshandel gestartet. In der ersten Periode bis 2008 wird zunächst nur mit CO₂ gehandelt, ab der zweiten Periode (2008 – 2013) ist mit einer Ausweitung auf andere Treibhausgasemissionen zu rechnen.

Für den Emissionshandel bilden sog. Emissionsfaktoren die Grundlage. Diese sind als Quotient aus der bei der Handhabung eines Stoffes freigesetzten Menge an fossilem CO₂ und der eingesetzten Gesamtmenge des jeweiligen Stoffes definiert. Gemäß den Leitlinien der Kommission [74, S. L 59/14] wird die Verbrennung von biogenen Energieträgern nicht als klimarelevant angesehen, so dass Biomasse den Emissionsfaktor 0 erhält.

Die potentiellen Anlagen für die Verwertung/Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen unterliegen seit 2005 dem Regime des Emissionsrechtehandels. Daher sind die Anlagenbetreiber bemüht, ihre Treibhausgasemissionen zu senken. Hierbei stellt der Brennstoffwechsel eine mögliche Strategie dar [75, S. 390]. Aus diesem Grund kann der biogene Anteil, also der Anteil an neutralem CO₂, im jeweiligen Substitut-Brennstoff¹) als Qualitätskriterium gewertet werden.

Ist die Bestimmung des Biomasse-Anteils eines Brennstoffgemisches aus technischen Gründen nicht möglich bzw. würde diese zu einem unverhältnismäßigem Aufwand führen, so ist der betroffene Betrieb gezwungen, entweder auf die Berücksichtigung des Biomasseanteils zu verzichten, oder er muss eine, von der zuständigen Behörde zugelassene, Schätzmethode verwenden [74, S. L 59/27].

Die Bestimmung des Emissionsfaktors gestaltet sich in der Praxis als äußerst komplex, wenn es darum geht, eine konkrete Abfallart zu analysieren [75, S. 388]. Derzeit werden vier Ansätze zur Ermittlung des biogenen Anteils verfolgt [76] [77] [78]:

- Händische Sortierung,
- Rechnerische Methode,
- Selektiver Aufschluss,
- Kohlenstoff-Isotopen-Methode (¹⁴C-Methode).

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die einzelnen Methoden gewissen Einschränkungen unterliegen. So liefert eine händische Sortierung, bei fein gemahlenem und anschließend verpresstem Material, nur schlechte Ergebnisse, weswegen dieses Verfahren bei Korngrößen < 30 mm nicht geeignet ist [77]. Beim rechnerischen Ansatz müssen für eine entsprechende Auswertesicherheit viele Informationen über den Brennstoff vorliegen, was im

¹ Der Begriff „Substitut-Brennstoff“ wird hier in dem Sinne verwendet, dass ein anderer Brennstoff substituiert wird. In diesem Kontext wird er nicht als Synonym für den Begriff „Ersatzbrennstoff“ verwendet.

realen Umfeld recht schwierig zu realisieren ist. Sowohl die selektive Löslichkeit als auch die ^{14}C -Methode befinden sich derzeit noch in der Entwicklung [78].

8.3.1 Angewandte Methoden

Zur Feststellung des biogenen Anteils in den Teilfraktionen wurden die folgenden zwei Methoden angewandt.

- **^{14}C -Methode**

Aus der Archäologie ist die Radiocarbon-Methode zur Altersbestimmung von Artefakten nicht mehr wegzudenken. Sie beruht auf der Grundlage, dass Organismen den, aufgrund der kosmischen Strahlung gebildeten, radioaktiven Kohlenstoff (^{14}C) aufnehmen. Sobald der Organismus abstirbt, verringert sich die Konzentration des Isotops, entsprechend der radioaktiven Zerfallsrate, kontinuierlich, da keine Aufnahme mehr erfolgen kann.

Für die Ermittlung des biogenen Anteils macht man sich nun diesen Prozess zunutze und kann, über die Bestimmung des Isotopenanteils ^{14}C , auf den biogenen Anteil rückrechnen. In Prochaska und Kienzl wird das genaue Durchführungsprozedere geschildert [63] [79, S. 349 ff].

- **Selektive Löslichkeit**

Die Methode der selektiven Löslichkeit wird bereits seit längerer Zeit angewendet, wobei sie zunächst in der Kompostierung eingesetzt wurde. Es handelt sich hierbei um die Ermittlung des biologisch abbaubaren Anteils im Kompost bzw. in Abfällen.

Bei diesem Verfahren wird in einem ersten Schritt die Probenmatrix aufgelöst und in weiterer Folge der biogene Kohlenstoff oxidiert. Für den Aufschluss wird hierbei konzentrierte Schwefelsäure (H_2SO_4) eingesetzt. Als Oxidationsmittel kommt Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zur Anwendung. Dabei muss besonders darauf geachtet werden, dass es zu keiner Oxidation von fossilem Kohlenstoff kommt, da ansonsten ein zu hoher Anteil an biogenem Kohlenstoff ausgegeben würde.

Für eine Anwendung zur Nachweisführung im Rahmen des Emissionshandels besteht allerdings noch weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Erhöhung der Selektivität und Genauigkeit der Methode [79, S. 352].

8.3.2 Auswertung der Ergebnisse

Für beide Probenahmezeiten wurde der biogene Anteil bestimmt. Hierzu wurden die zuvor beschriebenen Verfahren der *selektiven Löslichkeit* sowie der *^{14}C -Methode* eingesetzt.

In der nachfolgenden Tabelle 16 sind die errechneten biogenen Anteile für die beiden beprobten Kalenderwochen aufgelistet. Dabei zeigte sich, dass für die KW 13 mit der ¹⁴C-Methode durchwegs niedrigere Werte erhalten werden als mit der Methode der Selektiven Löslichkeit. Ein konträres Bild zeigt sich bei den Daten für die KW 19. Mit Ausnahme der Fraktion 0 – 20 liefert hier die ¹⁴C-Methode die höheren Werte. Dabei fällt auch auf, dass bei den Werten für die Fraktionen 20 – 80 vor dem Störstoff-Abscheider sowie die ThermoTeam-Fraktion ein Unterschied von über 10 % zwischen den beiden Methoden vorliegt.

Tabelle 16: Biogene Anteile in %, bestimmt durch Selektive Löslichkeit und ¹⁴C-Methode, KW 13 und 19

Probenbezeichnung	Biomasseanteil (SDM) ¹⁾ [% TS, Mittelwert]	Biomasseanteil (SDM) ²⁾ [% TS, Standardabw.]	Biogener C im Abgas ³⁾ [% , aus ¹⁴ C-Methode]	Biomasse im Verbrennungsinput ⁴⁾ [% TS, aus ¹⁴ C-Methode]
KW 13				
0 – 20 WP 13	33,1	1,8	56,9	26,3
20 – 60 WP 13	62,4	0,7	68,0	60,4
TT WP 13	52,2	0,6	38,7	46,3
KW 19				
0 – 20 WP 19	34,1	1,5	53,1	29,6
20 – 80 WP 19	43,0	3,8	70,3	58,3
TT WP 19	44,6	0,5	53,6	56,2
HOTDISC-EBS 20 – 80 Output WP 19	55,0	1,4	53,1	55,0

Aus der Beprobung der im Störstoff-Abscheider abgeschiedenen Stoffströme ergibt sich für die KW 19 im Mittel die nachfolgende Zusammensetzung (vgl. Tabelle 17):

¹ Biomassegehalt im Input nach Bestimmung mittels der Methode des selektiven Lösens (massenbezogen), MW aus drei Bestimmungen, bezogen auf TS, nach Störstoffkorrektur

² Biomassegehalt im Input nach Bestimmung mittels der Methode des selektiven Lösens (massenbezogen), Standardabw. aus drei Bestimmungen, bezogen auf TS, nach Störstoffkorrektur

³ Anteil des biogenen Kohlenstoffs am Kohlenstoff im Abgas (nach Verbrennung der Laborprobe)

⁴ Biomasse im Verbrennungsinput, nach Umrechnung auf Biomasse, Berücksichtigung des Aschegehaltes, bezogen auf Trockensubstanz und nach Störstoffkorrektur

Tabelle 17: Im Störstoff-Abscheider abgeschiedene Fraktionen in %, gemittelt für KW 19

Fraktion	Mittel KW 19 [M-%]
Kunststoff	9,1
Holz	11,6
Al	0,7
Fe	1,0
Cu	0,9
Steine	66,4
Glas	5,9
Sonstiges	4,3

Aus der Zusammensetzung ist ersichtlich, dass sich diese zu über 70 % aus Steinen sowie Glas zusammensetzt. Holz, welches in größeren Stücken ebenfalls von der Anlage, aufgrund seines Gewichtes, als Störstoff ausgeschleust wurde, macht hingegen nur einen Anteil von 11 % aus. Daraus folgt, dass für die KW 19 eher die *Selektive Löslichkeit* als Bewertung für den Biogenen Anteil heranzuziehen ist. Hierdurch würde sich eine Anreicherung von 43 % vor dem Störstoff-Abscheider, auf 55 % nach dem Abscheider, durch die Ausschleusung der Störstoffe erklären (vgl. Tabelle 16). In der nachfolgenden Abbildung 79 sind die Transferkoeffizienten des biogenen Anteils für die KW 13 und 19 in graphischer Form dargestellt. Deutlich erkennbar ist, dass der Transferkoeffizient für den biogenen Anteil in den HOTDISC-EBS von KW 13 auf KW 19 um 12,8 % gesteigert werden konnte (nach ^{14}C – Methode). Auch nach der Methode der Selektiven Löslichkeit ergibt sich eine Erhöhung um 17,45 %.



Abbildung 80: Transferkoeffizienten – Biogener Anteil, KW 13 und KW 19

8.4 Auswirkung auf die Abfallströme

An dieser Stelle ist zwischen unternehmensbezogener Bedeutung einerseits und überregionaler abfallwirtschaftlicher Bedeutung andererseits zu unterscheiden. Die abfallwirtschaftliche Bedeutung ist im Wesentlichen eine ökonomische Bedeutung. Auch Massenströme, die in Zusammenhang mit dem HOTDISC-EBS stehen, sind ein Indikator für die abfallwirtschaftliche Bedeutung, da zunehmende Massenströme als Hinweis auf wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit gesehen werden können, und somit ein Indikator für die ökonomische Relevanz des HOTDISC-EBS und der damit verbundenen Verfahren und Entsorgungskonzepte sind.

Behandlungskapazitäten für brennbare Abfälle sind in Österreich seit 2004 knapp und werden zumindest bis 2010 weiterhin als knapp prognostiziert [80]. Einem Überangebot an Abfällen steht eine zu geringe thermische Behandlungskapazität gegenüber. Sowohl die thermischen Behandlungsanlagen (MVA) als auch die industriellen Mitverbrennungsanlagen decken den Bedarf an thermischer Behandlungskapazität in Österreich gegenwärtig noch nicht vollständig ab. Bewältigt wird diese Situation durch Ausnahmen zum Deponierungsverbot [3, § 76 Abs. 7] in einigen Bundesländern bis Ende 2008 (Wien, Kärnten, Tirol, Vorarlberg) und durch Abfallexporte ins Ausland sowie den Aufbau von Zwischenlagern.

Für Entsorgungsunternehmen ist in dieser Marktsituation das Wachstum durch die zur Verfügung stehenden knappen Outputkapazitäten (Verträge mit Verbrennungsanlagen, eigene Verbrennungsanlagen) begrenzt. Können keine zusätzlichen Behandlungskapazitäten bereitgestellt oder aufgebaut werden, dann können auch keine zusätzlichen Abfallmengen vom Kunden übernommen werden. Wachstum ist also in diesem Marktumfeld (Beschaffungs- und Abnahmemarkt), der derzeit ein Angebotsmarkt ist, für ein Unternehmen nur möglich, wenn zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden können.

Bei der Nutzung von MVA-Konzepten kann das Entsorgungsunternehmen nur die gleiche Menge an Abfall übernehmen, wie MVA-Kapazitäten bestehen. In Österreich wird unbehandelter Abfall, sowohl Siedlungsabfall aus kommunaler Sammlung (= Hausmüll), als auch Siedlungsabfall aus gewerblicher Sammlung (= Gewerbeabfall), ohne zusätzliche Vorbehandlungsschritte (ggf. Transportkonditionierung), den Müllverbrennungsanlagen zugeführt.

Beim Einsatz der mechanischen Aufbereitung (Stoffstromtrennverfahren) entstehen Teilströme, die besser für andere Behandlungsverfahren als MVA geeignet sind und auch einfacher und kostengünstiger unterzubringen sind. Hierunter fallen u.a. die hochkalorische Leichtfraktion, die als Rohstoff für die nachfolgende EBS-Produktion dient und dann als EBS in der Zementindustrie eingesetzt wird, Inertfraktionen für die Deponie sowie Metallfraktionen zur stofflichen Verwertung.

Begrenzend für das Gesamtverfahren ist jeweils der Massenstrom mit der stärksten Einschränkung bzw. den größten Kapazitätsengpaß. In der derzeitigen Marktlage ist dies der Teilstrom „Mittelkalorischer EBS“, da die Übernahmekapazitäten der industriellen Verbren-

nungsanlagen (= Wirbelschichtanlagen) in Österreich begrenzt ist. Andere Teilströme aus den mechanischen Vorbehandlungsanlagen (= Splittinganlagen), wie z.B. heizwertreiche Leichtfraktionen, Metallfraktionen (Fe, NE) und Inertstoffe sind nicht so stark begrenzt. Dies bedeutet somit, dass jeder zusätzliche Output (d.h. Verwertung/Beseitigung) hinsichtlich des mittelkalorischen EBS die Möglichkeit zu einer Erhöhung der Inputmenge und damit eine Entsorgungsmengen- und Umsatzsteigerung bedeuten.

Zur Bewertung wird der Begriff „Hebel der thermischen Behandlung“ eingeführt. Er gibt das Verhältnis von Massenstrom „Gewerbeabfall“ (= Input) zu Massenstrom „thermische Behandlung“ (= Output) für eine Anlage an. Der Quotient gibt also an, wie viel Gewerbeabfall pro Tonne thermische Behandlung (Output) übernommen werden kann.¹⁾

8.4.1 Anlagenspezifische Bedeutung

Aus den Massenströmen verschiedener Anlagen lassen sich die folgenden Outputzahlen ermitteln (vgl. Tabelle 18).

Tabelle 18: Output verschiedener Verfahrenskonzepte zur Verwertung/Beseitigung von Abfall in %²⁾

Verfahrenskonzept	Output in %							
	MVA	Wert- u. Störstoffe	Mittelkal. EBS	LF	FF	Fe	NE	Inert
MVA	100	0	0	0	0	0	0	0
Splittinganlage Typ SDAG / Graz*	9	0	65	23	0	3	0	0
Splittinganlage Typ SDAG /Wien vor Um- bau*	10	2	50	17	18	2	0	1
Splittinganlage Typ SDAG / Wien nach Umbau**	3	4	55	17	14	3	1	3

* 2004, ** 2006

Daraus ergibt sich folgender „Hebel“ für Splittinganlagen (vgl. Tabelle 19):

¹⁾ Nur begrenzte Outputströme im d.F. MVA und mittelkalorischer EBS

²⁾ Angepasste Zahlen 2004 und 2006, unter Berücksichtigung von vor der Aufbereitung abgetrennten Stoffströmen in die MVA und stoffliche Verwertung (aus Bodensortierung). Gerundet auf %, Jahres-Ist-Daten aus Produktionscontrolling 2006 bzw. 2004.

Tabelle 19: Berechnung des Hebels von Splittinganlagen im Vergleich zur MVA

Verfahrenskonzept	MVA	Mittelkal. EBS	∑ Therm. Beh.	Hebel
MVA	100	0	100	1,00
Splittinganlage Typ SDAG / Graz	9	65	74	1,35
Splittinganlage Typ SDAG / Wien vor Umbau	10	50	60	1,66
Splittinganlage Typ SDAG / Wien nach Umbau	3	55	58	1,72

Eine Tonne zusätzliche Verbrennungskapazität für mittelkalorischen EBS bringt in Splittinganlagen, wie aus Tabelle 19 ersichtlich, zwischen 1,35 und 1,72 t möglichen Input an Gewerbeabfall. Den besten Wert erreicht die Splittinganlage Wien nach dem Umbau.

8.4.2 Regionale und nationale Bedeutung

Der Effekt einer zusätzlichen Verwertungslösung ist vorerst in der Region wirksam, in der die Massenströme als Input bezogen werden. Im speziellen Fall ist das die Region Wien mit den angrenzenden niederösterreichischen Gebieten. Andererseits ist jeder Massenstrom zu einer Behandlungsanlage ein Beitrag zur Abfallmengenbilanz Österreichs, insbesondere in der seit einigen Jahren bestehenden Situation, dass Unterkapazitäten von thermischen Behandlungsanlagen bestehen und noch einige Jahre bestehen werden.

Die durch die SDAG mittels HOTDISC-Verfahren behandelte Gewerbeabfallmenge 2007 betrug ca. 60.000 t. Bezogen auf das geschätzte Gewerbeabfallaufkommen ergibt dies folgende Anteile: Für die Region Wien beläuft sich bei einer geschätzten Gewerbeabfallmenge von 300.000 bis 400.000 t¹⁾ der Mengenanteil auf 15 – 20 %. Regional ist somit von einer wichtigen Verwertungslösung für Gewerbeabfälle auszugehen.

Der Beitrag der Verwertungslösung zu den gesamtösterreichischen Massenströmen an Gewerbeabfällen beträgt bei einem geschätzten Gewerbeabfallaufkommen von 2 – 3 Mio. t/a. nur 2 – 3 % und ist damit nicht bedeutend.

Der Anteil des HOTDISC-EBS, bezogen auf die eingesetzten Ersatzbrennstoffe in der österreichischen Zementindustrie, beträgt ca. 20 %.²⁾

¹ Firmeninterne Marktschätzungen auf Basis von veröffentlichten Zahlen (GM-Mengen unsicher!)

² Da Rohoznik in der Slowakei liegt, sind die Mengen nicht in den Statistiken der österreichischen Zementindustrie erfasst. Der Vergleich zeigt die Größenordnung in Bezug auf EBS in der österreichischen Zementindustrie.

Bezogen auf die in Österreich produzierten mittelkalorischen Ersatzbrennstoffe beträgt der Anteil der HOTDISC-EBS ca. 6 %.

In der aktuellen österreichischen Marktsituation, die durch deutliche Unterkapazitäten bei der thermischen Behandlung gekennzeichnet ist, ist dieser Beitrag zur Bewältigung der anfallenden Gewerbeabfallmengen sinnvoll. Insbesondere da gezeigt werden kann, dass das gegenständliche Verfahren regional einen wesentlichen Beitrag zur Abfallwirtschaft leistet.

8.4.3 Bedeutung von HOTDISC-EBS für ein österreichisches Entsorgungsunternehmen

Wesentlich für ein österreichisches Entsorgungsunternehmen wie der SDAG ist, dass eine zusätzliche und neue Outputkapazität geschaffen wurde. Die Abfallinputmenge der SDAG konnte, durch das HOTDISC-Konzept der Splittinganlage Wien, um ca. 60.000 t (vom Jahr 2003 auf 2007) gesteigert werden. Dies entspricht einem Umsatzzuwachs (bewertet mit einem durchschnittlichen Input GM Preis) von ca. € 7 Mio. für das Jahr 2006.

Folgende Aufstellung zeigt die Umsatz- und Mengensteigerungen, die auf den HOTDISC-EBS zurückzuführen sind (vgl. Tabelle 20). Daraus geht hervor, dass 2006 und 2007 wesentliche Mengen an HOTDISC-EBS verwertet wurden und dadurch Zusatzumsätze zwischen 7 – 8,4 Mio. Euro erzielt werden konnten. Für 2008 ist eine weitere deutliche Steigerung der Mengen sowie Umsätze zu erwarten.

Tabelle 20: Auf HOTDISC-EBS zurückführbare Umsatz- und Mengensteigerungen¹⁾

Jahr	HOTDISC-Menge	Zusätzl. GM [t]	Zusatzumsatz [€]
2004	0	0	0
2005	9.000	18.000	2.500.000
2006	25.000	50.000	7.000.000
2007	30.000	60.000	8.400.000
2008 ²	40.000	80.000	11.600.000

Zusätzlich ergeben sich positive ökonomische Effekte aus logistischen Vorteilen. Die Verwertung des HOTDISC-EBS im Zementwerk Rohoznik, hinsichtlich der Entfernung, liegt deutlich näher als die vorher wahrgenommene Lösung (RVL Lenzing). Die Transportdistanz konnte damit von 252 km (Wien – Lenzing) auf 113 km (Wien – Rohoznik) und somit um 55 % redu-

¹ Zahlen sind gerundet auf 1.000 t

² Prognose!

ziert werden. Neben dieser deutlichen Reduktion der Transportkosten ergeben sich auch ökologische Vorteile (Treibstoffeinsparung, Vermeidung von Transport bürtigen CO₂-Emissionen und Verkehrsbelastungen).

Folgende Tabelle 21 stellt einen Vergleich der Logistikközung „Transport des HOTDISC-EBS nach Rohoznik“ mit der alten Közung „Transport des EBS nach Lenzing“ dar (Basis 2007: 30.000 t EBS). Sie zeigt, dass Transportkosten, Treibstoffverbrauch und CO₂ deutlich reduziert werden konnten.

Tabelle 21: Vergleich der Logistikközung „HOTDISC-EBS-Transport nach Rohoznik“ mit der alten Közung „EBS-Transport nach Lenzing“

	Km	tkm	Spezifische Transportkosten [€/t]	Transportkosten absolut [€]	Treibstoffverbrauch [l]	CO ₂ [kg]
Wien–Lenzing–Wien	504	15.120.000	18,26	547.800	243.234	632.715
Wien-Rohoznik–Wien	226	6.780.000	13,60	408.000	109.070	284.891
Einsparung	278	8.340.000		139.800	134.164	347.824

Die Bedeutung der HOTDISC-Közung für die SDAG wird auch durch folgende Kennzahlen ausgedrückt (vgl. Tabelle 22):

Tabelle 22: Kennzahlen hinsichtlich der Bedeutung der HOTDISC-Közung für die SDAG¹⁾

Anteil HOTDISC-EBS an	
Gesamtmenge Abfall der SDAG	4,5 %
Mengen SDAG in Thermische Verwertung	15,0 %
Mengen EBS in die Zementindustrie	33,0 %
Mengen mittelkalorische EBS der SDAG	35,0 %

Zusammengefasst ergibt sich durch HOTDISC-EBS folgende Bedeutung für das Unternehmen SDAG:

¹ Daten basierend auf 2006

1. Die zusätzlich geschaffene, neue Outputkapazität, welche die Akquisition und somit das Wachstum von Mengen und Umsatz ermöglichte (auf Basis 2007: + 60.000 t Gewerbemüll-Input, + € 8.400.000 Umsatz).
2. Aufbau einer bedeutenden Marktposition für Gewerbeabfälle in der Region Wien und Umgebung (Marktanteil ca. 15 – 20 %)
3. Aufbau einer regional bedeutenden und logistisch verbesserten Verwertungslösung für EBS (Nähe zum Verwerter, Reduktion des Transportaufwandes um 55 %¹⁾)
4. Ausbau der Massenströme von mittelkalorischen EBS in die Zementindustrie.

8.5 Wirtschaftliche Analyse und Vergleich mit alternativen Entsorgungslösungen

Innovative Ansätze in der Abfallwirtschaft, und somit auch der neue HOTDISC-EBS und das HOTDISC-Verfahren an sich, werden nur dann wirtschaftliche Bedeutung erlangen, wenn sie Wettbewerbsvorteile im Vergleich zu alternativen Behandlungsverfahren aufweisen. Entscheidend ist die Betrachtung des Abfalls, der einer alternativen Behandlung unterzogen werden kann. Es ist jener Siedlungsabfall, der durch die Entsorgungsunternehmen bei ihren Kunden (Gewerbe- und Industriebetrieben) gesammelt wird. Letztendlich entscheiden die Abfallerzeuger (Kunden), welchem Entsorgungsunternehmen sie ihren Abfall übergeben. Der Preis für die Entsorgung des Abfalls beim Kunden muss also wettbewerbsfähig sein. Entscheidenden Einfluss auf diese Gesamtkosten und damit auf die Kalkulation des Entsorgungspreises beim Kunden haben die Behandlungs-, Verwertungs- und Logistikkosten aller der Sammlung nachfolgenden Prozesse.

8.5.1 Kosten

Ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Wettbewerbsfähigkeit des HOTDISC-EBS sind die Kosten. Je nach Bilanzraum und Bezugsgröße ergeben sich hierbei Unterschiede. In der folgenden Abbildung 81 sind die Prozesse und Bilanzräume der Kosten dargestellt.

¹ Bezogen auf Tonnenkilometer

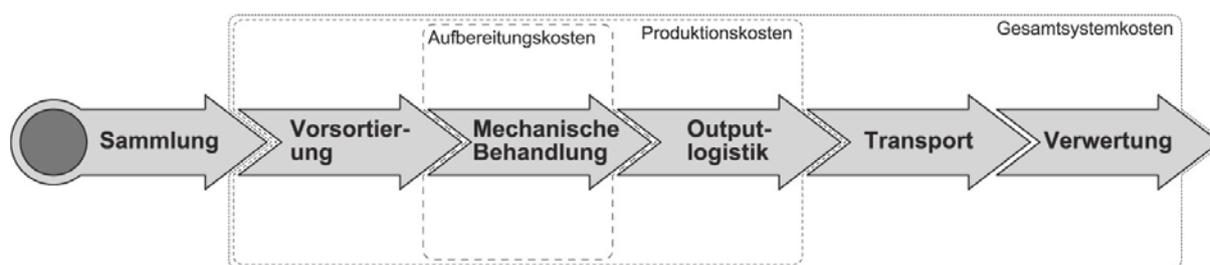


Abbildung 81: Prozesse und Bilanzräume der Kosten von Sammlung bis Verwertung

Bezogen auf das Inputmaterial (= Siedlungsabfall, angeliefert frei Splittinganlage) ergeben sich demnach folgende Kosten:

- **Aufbereitungskosten:**
Kosten der mechanischen Behandlung, ohne damit verbundene vor- und nachgeschaltete Prozesse (Vorsortierung, Lagerung), bezogen auf das Inputmaterial Gewerbemüll.
- **Produktionskosten:**
Kosten der mechanischen Behandlung, inklusive damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozessen (Vorsortierung, Lagerung), bezogen auf das Inputmaterial.
- **Gesamtsystemkosten:**
Produktionskosten zuzüglich Verwertungskosten aller Teilfraktionen, bezogen auf das Inputmaterial.

Bezogen auf den HOTDISC-EBS (Kostenträgerbetrachtung) sind folgende Kosten besonders relevant:

- **Herstellkosten HOTDISC-EBS:**
Aufbereitungskosten der mechanischen Behandlung, inklusive damit verbundener vor- und nachgeschalteter Prozesse (Vorsortierung, Lagerung), bezogen auf den HOTDISC-EBS.
- **Verwertungskosten HOTDISC-EBS:**
Verwertungskosten (Zuzahlung Zementwerk) zuzüglich Kosten der Transportlogistik und materialspezifische Steuern (z.B. AISAG).
- **Gesamtkosten HOTDISC-EBS:**
Herstellkosten zuzüglich Verwertungskosten.

Die angeführten Zahlen in Tabelle 23¹⁾ sind Ergebnisse des Produktionscontrollings der SDAG Splittinganlage Wien auf Basis der Daten des Jahres 2006.

¹ ohne Gemeinkosten, gerundet auf ganze Euro

Tabelle 23: Relevante Kosten des HOTDISC-EBS

Inputbezogen		Outputbezogen	
Aufbereitungskosten	22,-- €/t Input	Herstellkosten HOTDISC-EBS	27,-- €/t HOTDISC-EBS
Produktionskosten	27,-- €/t Input	Verwertungskosten HOTDISC-EBS	82,-- €/t HOTDISC-EBS
Gesamtsystemkosten	98,-- €/t Input	Gesamtkosten HOTDISC-EBS	109,-- €/t HOTDISC-EBS

Die Produktionskosten setzen sich folgendermaßen zusammen (vgl. Abbildung 82):

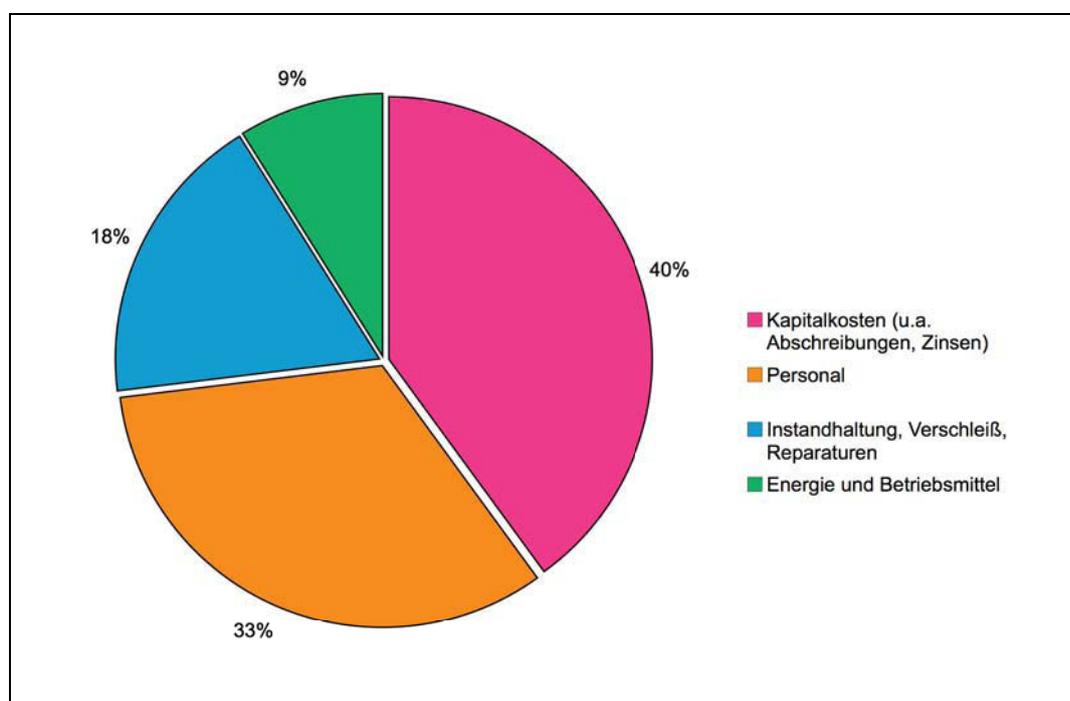


Abbildung 82: Zusammensetzung der Produktionskosten von HOTDISC-EBS in %

Auffällig ist, dass der Anteil der Verwertungskosten (inkl. der Outputlogistik und der AISAG) 74 % der Gesamtsystemkosten beträgt. Die Kosten der Verwertung haben entscheidenden Einfluss auf die Kostensituation. Eine Reduzierung der Gesamtsystemkosten muss daher vorrangig im Bereich der Verwertung (d.h. Zuzahlung) ansetzen. Optimierungen im Bereich der Aufbereitung haben im Vergleich dazu eine geringe Auswirkung.

Bei der Analyse der Kosten zeigt sich, dass sowohl die Anlage als auch die Logistik noch Optimierungspotential aufweisen. 2007 konnten die Gesamtsystemkosten bereits um 1 % gesenkt werden. Für 2008 wird durch Optimierungen im Bereich der Produktions- und Logistikkosten eine Reduktion um ca. 5 % erwartet, sodass Gesamtsystemkosten von 92 bis 95 €/t prognostiziert werden. Für die kommenden Jahre wird eine laufende Reduktion der

Zuzahlungen an die Zementindustrie erwartet, sodass von einer weiteren Reduktion der Gesamtsystemkosten auszugehen ist und damit verbunden eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit für HOTDISC-EBS als Lösung zur Behandlung und Verwertung für gewerbliche Siedlungsabfälle.

Die derzeitigen Gesamtsystemkosten (98,-- €/t Input) setzen sich folgendermaßen zusammen (vgl. Abbildung 83):

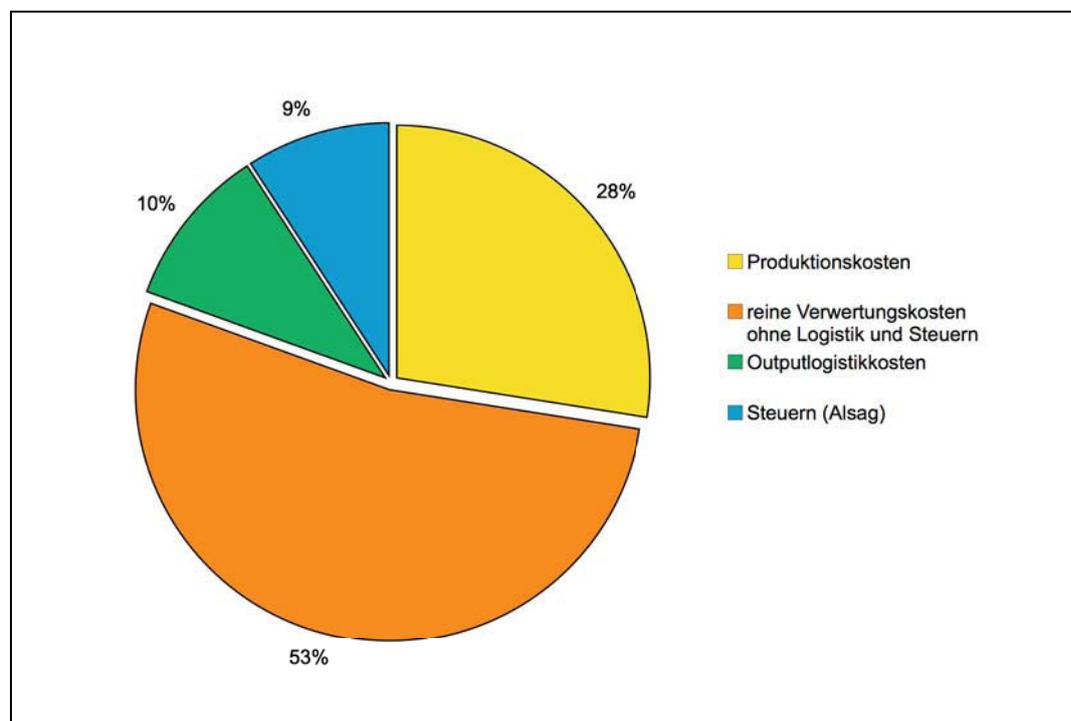


Abbildung 83: Zusammensetzung der Gesamtsystemkosten von HOTDISC-EBS in %

8.5.2 Kostenvergleich mit alternativen Behandlungsverfahren

Wenn alternative Behandlungsverfahren verglichen werden, so beschränkt sich dies meist nur auf die Kosten oder Preise der betrachteten Anlagen oder Verfahren. Die Aussage eines solchen Vergleiches ist jedoch gering, wenn die unterschiedlichen begleitenden Aufwände nicht in den Vergleich einbezogen werden.

Ein aussagekräftiger Vergleich von Behandlungsalternativen für Abfälle sollte daher alle für eine bestimmte Abfallart erforderlichen Nebenleistungen wie z.B. Logistik, mechanische Vorbehandlung, Zwischenlagerung, Verwertung abgetrennter Fraktionen etc. mitberücksichtigen. Es sind nicht einzelne Anlagen, sondern vielmehr Behandlungssysteme für eine bestimmte Abfallart zu vergleichen. Die Gesamtsystemkosten sind dafür gut geeignet.

Im Folgenden wird ein Vergleich der Gesamtsystemkosten unterschiedlicher Behandlungssysteme (vgl. Tabelle 24) für gewerblichen Siedlungsabfall dargestellt. Die zugrunde liegenden Daten sind reale Kosten bzw. Preise (Produktionscontrolling der SDAG 2006).

Tabelle 24: Unterschiedliche Behandlungssysteme (Szenarien) für gewerblichen Siedlungsabfall

Behandlungssystem MVA:	Transport (von Standort zu MVA) + MVA
Behandlungssystem Splittinganlage/WS1:	Mech. Behandlung Splittinganlage (Typ Graz) + Verwertung mittelkal. EBS in Wirbelschichtanlage
Behandlungssystem Splittinganlage/WS2:	Mech. Behandlung Splittinganlage (Typ Wien) + Verwertung mittelkal. EBS in Wirbelschichtanlage
Behandlungssystem Splittinganlage/HOTDISC:	Mech. Behandlung Splittinganlage (Typ Wien) + Verwertung mittelkal. EBS in HOTDISC

Die folgende Tabelle 25 zeigt die Gesamtsystemkosten der vier Behandlungssysteme und die absoluten Einsparungen, die durch das kostengünstigste System im Vergleich zu den anderen generiert werden können. Die Berechnung basiert auf einer Inputmenge von 60.000 t Gewerbemüll und zeigt damit die realen Einsparungen der SDAG für das Jahr 2007.

Tabelle 25: Gesamtsystemkosten der vier Behandlungssysteme und absolute Einsparungen

Behandlungs-system	Gesamtsys-temkosten (spez. €/t)	Gesamtsys-temkosten (absolut €/a)	Absolute Einspa-rung Splittingan-lage/ HOTDISC zu Alternativen	Rel. Vergleich zu Splittingan-lage/HOTDISC
MVA	161,--	9.660.000,--	3.780.000,--	164,3 %
Splittinganlage/WS1	125,--	7.500.000,--	1.620.000,--	127,5 %
Splittinganlage/WS2	112,--	6.720.000,--	840.000,--	114,3 %
Splittinganlage/HOTDISC	98,--	5.880.000,--	0,--	100 %

8.5.3 Wirtschaftliche Relevanz von HOTDISC-EBS für ein österreichisches Entsorgungsunternehmen

Die Umsetzung des HOTDISC-Konzeptes ermöglichte der SDAG eine deutliche Ausweitung ihrer Marktposition. In den Jahren 2005 – 2007 konnten dadurch Zusatzmengen an Gewerbeabfall im Ausmaß von ca. 128.000 t übernommen werden. Dies entspricht einem Zusatzumsatz von ca. 17,6 Mio. € in diesem Zeitraum. Allein für 2008 wird eine Zusatzmenge von 85.000 t sowie ein Umsatz von 11,6 Mio. € erwartet. Die Splittinganlage Wien erlangte damit eine wichtige regionale Bedeutung für Gewerbeabfälle im Großraum Wien.

Der Aufbau einer neuen Verwertungslösung für mittelkalorische EBS ermöglichte die Umsetzung einer expansiven Strategie. In der Phase von Entsorgungs- und Kapazitätsengpässen nach 2004, als Auswirkung der Deponieverordnung, konnte die SDAG im Gegensatz zu Mitbewerbern zusätzliche Kunden und Abfallmengen akquirieren und damit ihre Marktposition weiter ausbauen.

Die erfolgreiche Entwicklung eines mittelkalorischen Ersatzbrennstoffes für die Zementindustrie (HOTDISC-EBS) und die erfolgreiche Zusammenarbeit mit der Holcim Gruppe steigert nicht nur die Attraktivität der SDAG, sondern lässt darüber hinaus einen Ausbau der Zusammenarbeit mit der Zementindustrie und internationale Folgeaufträge erwarten. Es wird damit gerechnet, dass die HOTDISC-Technologie auch in anderen Zementwerken Anwendung finden wird. In diesem Fall wird das Unternehmen SDAG eine gute Ausgangsposition für zukünftige Projektentwicklungen und Kooperationen haben.

Die Gesamtsystemkosten zeigen für das dargestellte Verfahren hohe Wettbewerbsfähigkeit für gewerblichen Siedlungsabfall im Vergleich zu alternativen Behandlungssystemen. Im Hinblick auf MVA-basierte Systeme zeigt sich auf Basis österreichischer Preise ein Kostenvorteil von 64,4 %. Für die Zukunft wird eine Reduktion der Verwertungskosten für den mittelkalorischen EBS erwartet, sodass auch langfristig von einer guten Wettbewerbsfähigkeit auszugehen ist. Der aktuelle Vergleich zeigt für die SDAG einen jährlichen Kostenvorteil von 3,78 Mio. €.

Zusammenfassend kann der entwickelte mittelkalorische EBS für das HOTDISC-Verfahren und das darauf basierende Entsorgungssystem für gewerbliche Siedlungsabfälle als für die österreichische Abfallwirtschaft bedeutsam und für das daran beteiligte Unternehmen als hochprofitabel bezeichnet werden.

9 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Das HOTDISC-Verfahren ermöglicht den Einsatz von grobkörnigen und mittelkalorischen EBS im Zementdrehrohrföfen. Durch verfahrenstechnische Änderungen in der Splittinganlage Wien der SDAG sollte der bisher produzierte Wirbelschicht-EBS qualitativ so verbessert werden, dass er in der HOTDISC des Zementwerkes Rohoznik der Holcim Ltd. eingesetzt werden kann.

Eine umfassende Sortieranalyse für 27 Teilfraktionen bildete die Basis für eine Qualitäts- und Massenstromsimulation des geplanten HOTDISC-EBS. Mittels konventioneller Stoffflussanalyse wurden die Stoff- und Massenströme vor und nach Umbau der Splittinganlage untersucht. Dies ermöglichte den Vergleich der prognostizierten Stoff- und Massenströme mit den Ergebnissen der Stoffflussanalyse nach Anlagenänderung. Zusätzlich konnte die Qualitätsverbesserung des HOTDISC-EBS im Vergleich zum vorher produzierten Wirbelschicht-EBS nachgewiesen werden.

Ergänzend wurde durch Versuche die Förderfähigkeit des HOTDISC-EBS untersucht und das Lagerverhalten mit Schwerpunkt Selbstentzündung mittels Simulationen berechnet und beobachtet.

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit wurden drei zentrale Forschungsfragen formuliert, die in der Dissertation untersucht worden sind (vgl. Kapitel 1.2). Es werden hier nun zusammenfassend den Fragen die Ergebnisse gegenübergestellt.

1. Kann die Stoffflussanalyse auf theoretischer Basis (d.h. als Simulation) durchgeführt werden und damit als geeignetes Instrument zur Prognose von Massenströmen und EBS-Qualitäten dienen?

Die Planung von neuen EBS-Produktionsanlagen oder eine Anlagenänderung stellt für den Betreiber der Anlage immer ein Risiko dar. Einerseits ein Risiko hinsichtlich der Abfallmassen, die erwartet werden und andererseits hinsichtlich der Qualitäten, die mit potentiellen Abnehmern vereinbart sind. Insbesondere beim Umbau von bestehenden (produzierenden) Anlagen ist ein Nichterreichen der erwarteten Massen oder Qualitäten auch ein kaufmännisches Risiko, da im schlimmsten Fall bestehende Verträge nicht erfüllt werden können.

Liegen verlässliche Daten vor, die das Ausgangsmaterial beschreiben, also eine genaue und repräsentative Sortieranalyse, so kann eine Stoffflussanalyse für eine geplante Anlage oder geänderte Anlage vorgenommen werden. Am Beispiel der Splittinganlage Wien, die bereits EBS für Wirbelschichtanlagen erzeugte, konnte die Auswirkung der Anlagenänderungen auf Qualität und Massenströme, mittels theoretischer Stoffflussanalyse (Simulation), berechnet werden. Ergebnisse der Berechnung sind die prognostizierten Massenströme der entstehenden Teilfraktionen und deren stoffliche Zusammensetzung. Aufwändigster Teil ist die zugrunde liegende Sortier-

analyse, die das Ausgangsmaterial beschreibt. Nur wenn diese eine hohe Repräsentanz aufweist, kann die Simulation brauchbare Ergebnisse errechnen.

Die vorgenommene Gegenüberstellung der prognostizierten Werte für Massenströme und deren stoffliche Zusammensetzung mit den durch eine konventionelle Stoffflussanalyse im Nachhinein ermittelten Werten, ergibt eine gute Übereinstimmung. Die Prognose der Massenströme und insbesondere des HOTDISC-EBS ist als brauchbar zu bezeichnen. Die Prognose der stofflichen Zusammensetzung des HOTDISC-EBS zeigt bei den Parametern WG, As, Pb, Cd, Co, Ni, Se, Zn, Mn gute Ergebnisse. Bei den Parametern Cl, Cr, F, Hg, Te, Tl und V zeigt sie brauchbare Ergebnisse, während bei Hu, Sb, Cu, S und Sn wenig übereinstimmende Ergebnisse geliefert wurden. Festzuhalten ist, dass die in der Zementindustrie bei der Verbrennung von EBS besonders problematischen Parameter durch die Simulation gut bis ausreichend genau prognostiziert werden konnten.

Durch die Anwendung der Stoffflussanalyse zu Simulationszwecken konnte zudem eine ausreichende Planungssicherheit geschaffen werden. Die Unsicherheit der Auswirkungen von Anlagenänderungen in Bezug auf Massenströme und stoffliche Zusammensetzung konnte deutlich verringert werden. Die tatsächlichen Massenströme und Qualitäten deckten sich hinreichend genau mit der Prognose, sodass keine Probleme mit dem HOTDISC-EBS-Abnehmer auftraten. Im konkreten Fall hätte das Verfehlen bzw. Nichterreichen der vertraglich vereinbarten EBS-Qualität das Nichterfüllen des Liefervertrages bedeutet und damit ein hohes ökonomisches Risiko zur Folge gehabt. Das Ziel „Erhöhung der Planungssicherheit“ und damit Minimierung des kaufmännischen Risikos konnte im untersuchten Fall erreicht werden. Die Methode ist aus technischer Sicht praktikabel und praxistauglich und kann für ähnliche Fragestellungen empfohlen werden.

2. Kann durch die konventionelle Stoffflussanalyse nachgewiesen werden, dass der aus gemischten Siedlungsabfällen hergestellte EBS die Anforderungen des HOTDISC-Verfahrens erfüllt?

Bereits die auf theoretischer Basis durchgeführte Stoffflussanalyse (Simulation) lies erwarten, dass die vom Verwerter geforderten Spezifikationen und/oder Grenzwerte erreicht werden können. Dies konnte durch die nach dem Anlagenumbau durchgeführte konventionelle Stoffflussanalyse bestätigt werden. Im Vergleich zur Stoffflussanalyse vor dem Umbau zeigt sich für wesentliche Parameter eine deutliche Verbesserung, sodass auch von einer Qualitätssteigerung des EBS gesprochen werden kann.

Stoffflüsse und -gehalte verschiedener Parameter wurden vor und nach dem Umbau ermittelt und interpretiert. Ein Ergebnis ist die Entwicklung von anlagenspezifischen Transferkoeffizienten für mehrere Parameter. Bei den Parametern Cd, Hg, Fe und Pb ergaben sich durch den Anlagenumbau positive Veränderungen. Bei Störstoffen er-

gab sich eine deutliche Reduktion, beim biogenen Anteil eine erwünschte Erhöhung im HOTDISC-EBS.

Die Ergebnisse der Stoffflussanalyse bestätigten weitgehend die Prognosen der Simulation. Die Stoffflussanalyse kann aber nur die Einhaltung von vorgegebenen Spezifikationen (Grenzwerte oder Zielwerte) des Verwerter überprüf. Die Eignung im Prozess selbst, insbesondere in Hinblick auf Förderfähigkeit, Durchsatzmenge, Verbrennungseigenschaften kann nur durch den konkreten Einsatz in der Praxis geprüft werden. Der Einsatz im Zementwerk Rohoznik zeigt, dass die Einsatzmengen laufend gesteigert werden konnten und weiter gesteigert werden (Planmenge 2008: 40.000 t). Sowohl die physikalischen Eigenschaften als auch die stoffliche Zusammensetzung sind für einen großtechnischen Einsatz geeignet. Dennoch bestehen aber zwischen dem EBS-Produzenten (= Entsorgungsunternehmen) und dem Verwerter (= Zementwerk) unterschiedliche Interessen in Hinblick auf eine ökonomische Optimierung.

Durch die Herstellung des HOTDISC-EBS aus Siedlungsabfällen und dem bereits groß-technischen Einsatz in der HOTDISC des Zementwerkes Rohoznik ist aus technischer Sicht ausreichend nachgewiesen, dass gemischte Siedlungsabfälle gewerblicher Herkunft als Rohstoff für mittelkalorischen EBS geeignet sind. Aus Sicht der Abfallwirtschaft zeichnet sich dieser HOTDISC-EBS durch hohe Verfügbarkeit (Mengen aufkommen) und ökonomische Attraktivität aus.

3. Ist die Produktion und energetische Verwertung des HOTDISC-EBS aus abfallwirtschaftlicher Sicht sinnvoll und ökonomisch konkurrenzfähig?

Die Energiebilanz des HOTDISC-EBS-Prozesses zeigt, dass der Energiebedarf für Sammlung, mechanische Aufbereitung (= Splitting) und Transport lediglich 2,2 % des Energieinhaltes des EBS beträgt. 50 % des Energieinhaltes gehen direkt in die Produktion des Klinkers ein, werden also chemisch gebunden. 48 % sind thermische Verluste im Zementwerk. Der Aufwand für Herstellung und Bereitstellung des EBS ist somit im Vergleich zum Energieinhalt zu vernachlässigen. Aus energetischer Sicht ist die Herstellung des HOTDISC-EBS aus gewerblichen Siedlungsabfällen und die energetische Nutzung im Zementwerk damit als positiv zu bewerten.

Die CO₂-Bilanz zeigt, dass aufgrund des hohen biogenen Anteils im HOTDISC-EBS ca. 50,6 % des enthaltenen Kohlenstoffes als biogenes CO₂ bei der thermischen Verwertung freigesetzt werden, 47 % sind als CO₂ mit fossiler Herkunft zu bezeichnen. Lediglich 2,4 % des CO₂ sind den Tätigkeiten: Sammlung, mechanischer Aufbereitung (= Splitting) und Transport zuzuordnen. Auch hier zeigt sich, dass der Anteil der Herstellung und Bereitstellung des EBS an den gesamten CO₂-Emissionen gering ist. Der HOTDISC-EBS weist einen hohen Anteil an biogenem Kohlenstoff auf. In diesem Zusammenhang wäre eine weitergehende Interpretation und Bewertung der öko-

logischen und ökonomischen Vorteile von HOTDISC-EBS sinnvoll, konnte aber im Rahmen dieser Arbeit nicht mehr erfolgen.

Am Beispiel eines privaten Entsorgungsunternehmens (SDAG) konnte gezeigt werden, dass die Herstellung von HOTDISC-EBS in einer Splittinganlage eine betriebswirtschaftlich wichtige Rolle spielt. Das Anlagensystem, bestehend aus mechanischer Vorbehandlungsanlage und nachfolgender thermischer Verwertung von EBS in der Mitverbrennung ist im ökonomischen Umfeld der österreichischen Abfallwirtschaft, im Vergleich zu alternativen Verfahren konkurrenzfähig. Vielmehr noch, es ergibt sich durch HOTDISC-EBS eine hohe Wettbewerbsfähigkeit, da im Vergleich zu alternativen Behandlungssystemen (MVA) Kostenvorteile von über 60 % generiert werden können. Aufgrund der, in der nahen Zukunft stattfindenden Entwicklungen, kann eine weitere Reduzierung der Verwertungskosten im Bereich der mittelkalorischen EBS erwartet werden, sodass die generierten Vorteile wohl auch langfristig Bestand haben werden.

Die aktuelle abfallwirtschaftliche Bedeutung von HOTDISC-EBS ist regional begrenzt, da weltweit bisher erst ein Zementwerk das HOTDISC-Verfahren für EBS aus gewerblichen Siedlungsabfällen nutzt. Es ist jedoch zu erwarten, dass in Zukunft international gesehen weitere Zementwerke diese neue Technologie nutzen werden. In Österreichischen Zementwerken ist dazu derzeit kein Projekt bekannt bzw. ist die Nachrüstung einer HOTDISC technisch oder wirtschaftlich zu aufwändig, sodass zumindest in nächster Zeit die Auswirkung von HOTDISC-EBS auf die österreichische Abfallwirtschaft auf den Osten Österreichs begrenzt bleiben wird. International ist zu erwarten, dass bei einer Verbreitung des HOTDISC-Verfahrens in der Zementindustrie der Einsatz nicht nur auf EBS aus gewerblichen Siedlungsabfällen beschränkt bleiben wird sondern auch auf andere Abfälle ausgeweitet werden wird. Aufgrund der positiven Erfahrungen bei der EBS-Produktion in Österreich und dem erfolgreichen Einsatz im Zementwerk Rohoznik ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit steigender internationaler Bedeutung für die Zementindustrie und die Abfallwirtschaft zu rechnen. Dies umso mehr, als sich durch die weiter steigenden Preise für primäre Energieträger und den CO₂-Zertifikatehandel eine weitere Verringerung der Zuzahlungen bei der Mitverbrennung von mittelkalorischen EBS abzeichnet. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft von den Zementwerken für die Anlieferung von qualitätsgesicherten EBS bezahlt werden wird.

10 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Aus der vorliegenden Arbeit lassen sich weitere Forschungsfragen ableiten:

Das HOTDISC-Verfahren bietet hohe Flexibilität in Hinsicht auf Konsistenz und Körnung von EBS. Die vorliegende Arbeit beschränkte sich auf die Einsatzmöglichkeiten für mittelkalorische feste EBS aus gewerblichen Siedlungsabfällen. Der Einsatzfähigkeit anderer Abfallarten und die Untersuchung der technischen, ökologischen und ökonomischen Einsatzgrenzen wäre eine sinnvolle weiterführende Fragestellung.

Insbesondere die Herstellung von HOTDISC-EBS aus kommunalen Siedlungsabfällen und sein Einsatz in der HOTDISC von Zementwerken sollte näher untersucht werden. Erste Untersuchungen des Verfassers mit mittelkalorischen EBS aus MBA lassen eine gute Einsatzfähigkeit in der HOTDISC vermuten. Das Anwendungsgebiet der HOTDISC ließe sich dadurch wesentlich erweitern. Die technisch nicht begründbare Ablehnung des Einsatzes von kommunalen Abfällen in Zementwerken durch Genehmigungsbehörden, Betreiber und Gesellschaft sollte wissenschaftlich hinterfragt werden.

Das konkrete Verhalten von EBS bei der Verbrennung in der HOTDISC (Verbrennungskinetik, Verbrennungsgeometrie, zeitliche und räumlicher Abläufe) ist noch nicht ausreichend bekannt. Nur nach genauer Kenntnis des Verbrennungsverhaltens von EBS in der HOTDISC können gezielt Optimierungen des Verbrennungsraumes und Verbesserungen der EBS-Qualität erarbeitet werden.

Auch Energie- und CO₂-Bilanz sind die Basis für weitere Fragen. Der EBS und das Verbrennungsverfahren HOTDISC wären einer weitergehenden ökologischen und ökonomischen Bewertung und Interpretation (z.B. durch LCA-Methode) zu unterziehen.

Neben technischen Fragen ergeben sich für den Verfasser vor allem auch wirtschaftliche Fragestellungen. Welchen Wert hat EBS und nach welchen Mechanismen stellt sich dieser ein? Wie ist die Abhängigkeit dieses EBS-Marktes von den Rohstoffmärkten? Können Modelle der Preisfindung für EBS entwickelt werden? Was ist der Volkswirtschaftliche Nutzen von EBS? Diese Fragen gehen weit über technische Fragestellungen hinaus, haben aber hohe „abfall-wirtschaftliche“ Relevanz.

Abschließend lässt sich feststellen, dass das Thema EBS bei weitem noch nicht abgeschlossen ist. Es wird uns aller Voraussicht nach auch noch in Zukunft beschäftigen.

11 Verzeichnisse

11.1 Literatur

- [1] Mauschitz, G.; Hackl, A.: Einsatz von Ersatzstoffen in der österreichischen Zementherzeugung, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Menapace, H.; Kienzl, N.; Vogrin, A. (Hrsg.): DepoTech 2006 – Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten, Tagungsband der 8. DepoTech Konferenz, Montanuniversität Leoben / Österreich / 22. – 24. November 2006, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2006, S. 311 – 318.
- [2] Holcim: Über uns. Online im WWW unter URL: http://www.holcim.ch/CH/DE/b/null/oid/536889504/channel_id/-8261/module/gnm0/jsp/templates/editorial/editorial.html. Stand Dezember 2007.
- [3] BGBl. 2002/102: Bundesgesetz vom 16. Juli 2002 über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002).
- [4] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006, Wien 2006. Online im WWW unter URL: www.bundesabfallwirtschaftsplan.at. Stand Februar 2008.
- [5] Hackl, A. E.: Technische und rechtliche Grundlagen der Mitverbrennung, In: Lorber, K. E.; Wagner, H.; Wolfbauer, J.; Kotschan, M. (Hrsg.): DepoTech 2002 – Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, Thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung, Konferenzbericht der 6. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 20. – 22. November 2002, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002, S. 189 – 196.
- [6] Thiel, S.: Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung in Kohlekraftwerken, Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar, Weimar 2007.
- [7] Thomé-Kozmiensky, K. J.; Thiel, S.: Restabfallentsorgung in Europa, In: Versteyl, A.; Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Texte zur Abfall- und Energiewirtschaft, Band 3, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2007, S. 3 – 182.
- [8] ÖNORM S 2096 Teil 1: Stoffflußanalyse; Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Begriffe, 2005.
- [9] Böhmer, S.; Rumplmayr, A.; Rapp, K.; Baumgartner, A.: Mitverbrennung von Klärschlamm in kalorischen Kraftwerken, Umweltbundesamt GmbH, Wien 2001.
- [10] Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Dezember 2000 über die Verbrennung von Abfällen (RL 2000/76/EG).

- [11] Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband: Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft : ÖWAV-Regelblatt 514, Selbstverlag des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Wien 2003.
- [12] Meffert, H.; Kirchgeorg, M.: Marktorientiertes Umweltmanagement : Konzeption – Strategie – Implementierung mit Praxisfällen, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart 1998.
- [13] Strebel, H.: Industrie und Umwelt, In: Schweitzer, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre – Das Wirtschaften in Industrieunternehmen, 2., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, München 1994, S. 747 – 851.
- [14] Pomberger, R.; Pintel M.: Projekt ThermoTeam – Stoffstrom- und qualitäts-bezogene Anlagankonzeption, In: Lorber, K. E.; Wagner, H.; Wolfbauer, J.; Kotschan, M. (Hrsg.): DepoTech 2002 – Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, Thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung, Konferenzbericht der 6. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 20. – 22. November 2002, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002, S. 205 – 212.
- [15] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Gestaltung der Ersatzbrennstoffherstellung im Hinblick auf die Verwertung, In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2 : Verwerter – Qualitätskontrolle – Technik – Wirtschaftlichkeit, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2002, S. 3 – 38.
- [16] Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 2 : Verwerter – Qualitätskontrolle – Technik – Wirtschaftlichkeit, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2002.
- [17] Mauschitz, G.; Hackl, A.: Einsatz von Ersatzstoffen in der österreichischen Zementherzeugung, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Menapace, H.; Kienzl, N.; Vogrin, A. (Hrsg.): DepoTech 2006 – Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten, Tagungsband der 8. DepoTech Konferenz, Montanuniversität Leoben / Österreich / 22. – 24. November 2006, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2006, S. 311 – 318.
- [18] Neubauer, C.; Öhlinger, A.: Ist-Stand der Mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich : Zustandsbericht 2006, Umweltbundesamt GmbH, REP-0071, Wien 2006.
- [19] BGBl. Nr. 164/1996 in der Fassung BGBl. II Nr. 49/2004: Verordnung über die Ablagerung von Abfällen (Deponieverordnung).
- [20] Piechura, H.: Wirbelschichtverbrennungsanlagen und Anforderungen an den Ersatzbrennstoff, In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Ersatzbrennstoffe 3 : Immissions- und Gewässerschutz – Qualitätssicherung – Logistik und Verwertung – Deponierung der Schwerfraktion, TK Verlag, Neuruppin 2003.

- [21] Grech, H.: Mitverbrennung von Abfällen und Reststoffen in industriellen Feuerungsanlagen, Umweltbundesamt GmbH, Wien 2000.
- [22] Kaufmann, K.; Offenbacher, E.: Verwertung von Ersatzbrennstoffen in der Wirbelschicht, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Menapace, H.; Kienzl, N.; Vogrin, A. (Hrsg.): DepoTech 2006 – Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten, Tagungsband der 8. DepoTech Konferenz, Montanuniversität Leoben / Österreich / 22. – 24. November 2006, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2006, S. 319 – 326.
- [23] Pomberger, R.: Umsetzung der Deponie-VO – Kombination von Anlagen für Splitting, Ersatzbrennstoffproduktion und thermische Verwertung, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 443 – 450.
- [24] Umweltbundesamt: Umweltsituation in Österreich : Achter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat, Umweltbundesamt GmbH, Wien 2007.
- [25] Pomberger, R.; Schmidt, G.: Die aktuelle Stellung der österreichischen Abfallwirtschaft, In: Klampfl-Pernold, H.; Gelbmann, U.: Quantensprünge in der Abfallwirtschaft : Entwicklung eines innovationsorientierten Phasenmodells der europäischen Abfallwirtschaft, Shaker Verlag, Aachen 2006, S. 40 – 48.
- [26] Böhmer, S.; Kügler, I.; Stoiber, H.; Walter, B.: Abfallverbrennung in Österreich : Statusbericht 2006, Umweltbundesamt GmbH, Wien 2007.
- [27] Tesch, H.; Schelch, M.; Kotschan, M. J.; Lorber, K. E.: Kapazitäten der thermischen Abfallbehandlung in Hinblick auf das Jahr 2004, In: Lorber, K. E.; Wagner, H.; Wolfbauer, J.; Kotschan, M. (Hrsg.): DepoTech 2002 – Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, Thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung, Konferenzbericht der 6. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 20. – 22. November 2002, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002, S. 449 – 456.
- [28] Roth, H.; Pomberger, R.: Die Entwicklung der privaten Entsorgungswirtschaft in Österreich und im europäischen Umfeld – Der Lange Weg zu einer Hightech Wirtschaft. In: Versteyl, A.; Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): Texte zur Abfallwirtschaft, Band 1. TK Verlag Thomé-Kozmiensky, Neuruppin 2006.
- [29] Umweltzentrum Simmering: MVA Pfaffenau – Projekt. Online im WWW unter URL: www.umweltzentrum.at/index.php?id=134. Stand März 2008.
- [30] Tschabuschnig, H.: Ziele und Strategien der Abfallwirtschaft in Kärnten, Vortrag im Rahmen der ÖWAV Jahrestagung 2.4.2008, Wien 2008.

- [31] Holcim History. Online im WWW unter URL: www.holcim.com/CORP/EN/id/1610645011/mod/gnm0/page/editorial.html. Stand Jänner 2008.
- [32] Holcim at a Glance (Booklet). Online im WWW unter URL: www.holcim.com/gc/CORP/uploads/Holcim_auf_einen_Blick_2006.pdf. Stand Februar 2008.
- [33] ecorec Unternehmensprofil. Online im WWW unter URL: www.ecorec.at/profil. Stand Jänner 2008.
- [34] ÖNORM S 2100: Abfallverzeichnis, Ausgabe 2005-06-01, Österreichisches Normungsinstitut (ON), Wien 2005.
- [35] Europäischer Abfallkatalog (EAK): Entscheidung der Kommission vom 16. Jänner 2001 (2001/118/EG) geändert durch Entscheidung der Kommission vom 2. Juli 2001 (2001/573/EG).
- [36] Mrotzek, A.: Modellgestützte Stoffflussanalyse der Ersatzbrennstoffherstellung aus gemischten Gewerbeabfällen, In: Kühle-Weidemeier, M. (Hrsg.): Abfallforschungstage 2006 : Abfalltagung mit wissenschaftlichem Schwerpunkt, Tagungsband, Cuvillier Verlag, Göttingen 2006, S. 56 – 68.
- [37] Härdtle, G.: Ersatzbrennstoffe – Herstellung Lagerung und Verwertung. Neuruppin 2001.
- [38] Lorber, K. E.; Wagner, H.; Wolfbauer, J.; Kotschan, M. (Hrsg.): DepoTech 2002 – Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, Thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung, Konferenzbericht der 6. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 20. – 22. November 2002, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002.
- [39] Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004.
- [40] Lorber, K. E.; Staber, W.; Menapace, H.; Kienzl, N.; Vogrin, A. (Hrsg.): DepoTech 2006 – Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten, Tagungsband der 8. DepoTech Konferenz, Montanuniversität Leoben / Österreich / 22. – 24. November 2006, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2006.
- [41] Menapace, H.; Staber, W.; Curtis, A.; Pomberger, R.; Prochaska, M.; Lorber, K. E.: Stoffflußanalyse für mechanische Abfallbehandlungsanlagen im Verbund, In: Kühle-Weidemeier, M. (Hrsg.): Abfallforschungstage 2006 : Abfalltagung mit wissenschaftlichem Schwerpunkt, Tagungsband, Cuvillier Verlag, Göttingen 2006, S. 32 – 43.

- [42] Schirmer, M.; Bilitewski, B.; Hoffmann, G.: Chlorverhalten im Verbrennungsprozess, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 165 – 172.
- [43] Pomberger, R.: Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen : Anforderungen, Möglichkeiten, Betriebserfahrungen. Vortrag im Rahmen der Tagung „Abfallwirtschaft als Ressourcenlieferant der Zukunft“, Veranstalter Umweltbundesamt (UBA) und Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe (VÖEB), 30. Jänner 2007.
- [44] Klampfl-Pernold, H.; Gelbmann, U.: Quantensprünge in der Abfallwirtschaft : Entwicklung eines innovationsorientierten Phasenmodells der europäischen Abfallwirtschaft, Shaker Verlag, Aachen 2006.
- [45] Saubermacher Dienstleistungs AG: Börseprospekt der SDAG, 2008. Online im WWW unter URL: www.saubermacher.at/web/mod/file.php?fname=52388_GER_as-printing_low_res.pdf. Stand: Jänner 2008.
- [46] Steininger, K.; Damm, A.; Passeiler, A.; Schmid, C.: Untersuchung der volkswirtschaftlichen Effekte des Einsatzes von aufbereiteten Abfällen als Ersatzbrennstoffe, Studie im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs AG, Graz 2008.
- [47] Austrian Energy Agency: Energieflussbild Österreich 2005. Online im WWW unter URL: [www.energyagency.at/\(de\)/publ/pdf/efluss05.pdf](http://www.energyagency.at/(de)/publ/pdf/efluss05.pdf). Stand Februar 2008.
- [48] Hackl, A.: Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Energiehaushalt in Österreich, In: ÖWAV: Österreichische Abfallwirtschaftstagung 2007 „Energie und Rohstoffe im Abfall“, 28. – 29. März 2007, Linz 2007.
- [49] Hackl, A.; Mauschitz, G.: Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, Wien 1995. Online im WWW unter URL: www.zement.at/file_upl/hackl1.pdf. Stand November 2007.
- [50] Hackl, A.; Mauschitz, G.: Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie II, Jahresreihe 1994 – 1996, Wien 1997. Online im WWW unter URL: www.zement.at/file_upl/hackl2.pdf. Stand November 2007.
- [51] Hackl, A.; Mauschitz, G.: Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie III, Jahresreihe 1997 – 1999, Wien 2001. Online im WWW unter URL: www.zement.at/file_upl/emissionen_iii.pdf. Stand November 2007.
- [52] Hackl, A.; Mauschitz, G.: Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV, Jahresreihe 2000 – 2002, Wien 2003. Online im WWW unter URL: www.zement.at/file_upl/Hackl4_Web_Fertig2.pdf. Stand November 2007.

- [53] Mauschitz, G.: Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie V, Berichtsjahr 2003, Wien 2004. Online im WWW unter URL: www.zement.at/file_upl/EmissionenV_Web.pdf. Stand November 2007.
- [54] Pomberger, R.: Umsetzung der Deponie-VO – Kombination von Anlagen für Splitting, Ersatzbrennstoffproduktion und thermische Verwertung, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 443 – 450.
- [55] Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken : Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität, Der neue Bericht an den Club of Rome, Deutscher Taschenbuch Verlag, München 2007.
- [56] Pomberger, R.: Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen – Anforderungen, Möglichkeiten, Betriebserfahrungen, In: Umweltbundesamt GmbH, VÖEB: Abfallwirtschaft als Ressourcenlieferant der Zukunft?, Wien 2007.
- [57] Skutan, S.: Stoffflussanalysen an MBA und MA zur Restabfallbehandlung, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 133 – 138.
- [58] Baccini, P.; Brunner, P. H.: Metabolism of the Anthroposphere, Springer-Verlag, Berlin 1991.
- [59] ÖNORM S 2096 Teil 2: Stoffflußanalyse; Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Methodik, 2005.
- [60] Lechner, K.; Egger, A; Schauer, R.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 19., überarb. Aufl., Linde Verlag Wien Ges.m.b.H., Wien 2001.
- [61] Tappeiner, T.; Thaler, C.: Aufarbeitung von Cu-hältigen Reststoffen unter besonderer Berücksichtigung von Elektronikschrott, Seminararbeit, Montanuniversität Leoben - Arbeitsbereich Nichteisenmetallurgie, Leoben 2006.
- [62] Glorius, T.: Erfahrungen mit Produktion und Einsatz von BPG® und SBSS® - Teil 1, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 415 – 420.

- [63] Prochaska, M.; Maier, J.; Lorber, K. E.: Teilbericht zum Projekt „Entwicklung neuer Brennstoffqualitäten aus Abfall“ im Auftrag der Saubermacher Dienstleistungs AG, Montanuniversität Leoben, Leoben 2005.
- [64] Oberbach, K.: Saechtling, Kunststoff-Taschenbuch. Ausgabe 26, Carl Hanser Verlag, München 1995.
- [65] Pehlken, A.; Pretz, T.: Charakterisierung heizwertreicher Fraktionen aus der Restmüllaufbereitung, In: Lorber, K. E.; Wagner, H.; Wolfbauer, J.; Kotschan, M. (Hrsg.): DepoTech 2002 – Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, Thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung, Konferenzbericht der 6. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 20. – 22. November 2002, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002, S. 221 – 228.
- [66] Himmel, W.: Ersatzbrennstoffe zur thermischen Verwertung bei der Zementherstellung, In: Lorber, K. E.; Wagner, H.; Wolfbauer, J.; Kotschan, M. (Hrsg.): DepoTech 2002 – Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, Thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung, Konferenzbericht der 6. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 20. – 22. November 2002, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2002, S. 213 – 219.
- [67] Pomberger, R.; Raupenstrauch, H.: Brennstoff vor Feuer schützen, In: Müllmagazin – Fachzeitschrift für ökologische Abfallwirtschaft, Abfallvermeidung und Umweltvorsorge, Nummer 3/2006 3. Quartal 30. September 2006 19. Jhg., Rhombos-Verlag, Berlin.
- [68] Egger, S.; Raupenstrauch, H.: Permeabilität als Grundlage der Untersuchung des Selbsterwärmungsverhalten, Montanuniversität Leoben, Leoben 2007.
- [69] Walkner, R.: Untersuchung des Selbsterwärmungsverhaltens eines Lagers für aufbereiteten Substitut (ASB), Diplomarbeit, Technische Universität Graz, Graz 2005.
- [70] Pühringer, M.; Zauner, Ch.; Ahonen, M.: Analysing Conflict Potential Among Three Interdependent Companies, Projektarbeit, IBC Hetzendorf, Hetzendorf 2005.
- [71] Hackel, A.: Auswirkungen des Kyoto Protokolls und den damit verbundenen Regelungen auf die Abfallwirtschaft, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 381 – 384.
- [72] BGBl. I Nr. 46/2004: Bundesgesetz über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten (Emissionszertifikatengesetz – EZG).

- [73] Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates (RL 2003/87/EG).
- [74] Richtlinie 2004/156/EG: Entscheidung der Kommission vom 29. Januar 2004 zur Festlegung von Leitlinien für Überwachung und Berichterstattung betreffend Treibhausgasemissionen gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates (RL 2004/156/EG).
- [75] Treder, M.: Welche Auswirkungen haben die Klimaschutzinstrumente auf die energetische Entsorgung von Abfällen, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Novak, J.; Prochaska, M.; Maier, J.; Kastl, I. (Hrsg.): DepoTech 2004 – Abfall- und Deponietechnik, Altlasten, Abfallwirtschaft, Konferenzbericht der 7. DepoTech Fachtagung Leoben / Österreich / 24. – 26. November 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004, S. 385 – 392.
- [76] CEN/TC 343 Solid recovered fuels - Method for the determination of biomass content, Annex F, draft stage 32, 01/2005.
- [77] Flamme, S.: Bestimmung des biogenen Anteils in Sekundärbrennstoffen, In: Schriftenreihe des Instituts für Abfallwirtschaft und Altlasten, Band 40 Technische Universität Dresden, Dresden 2005.
- [78] Staber, W.; Flamme, S.; Fellner, J.: Methods for determining the biomass content of waste. Waste Management & Research, Volume 26/2008, Issue 1 : Special Issue: Greenhouse Gases, S. 78 – 87.
- [79] Kienzl, N.; Staber W.; Raber, G.: 14C-Methode – Bestimmung des biogenen Anteils in Abfällen, In: Lorber, K. E.; Staber, W.; Menapace, H.; Kienzl, N.; Vogrin, A. (Hrsg.): DepoTech 2006 – Abfall- und Deponietechnik, Abfallwirtschaft, Altlasten, Tagungsband der 8. DepoTech Konferenz, Montanuniversität Leoben / Österreich / 22. – 24. November 2006, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2006, S. 349 – 352.
- [80] Alwast, H.; Hofmeister, J.: Branchenreport „Entsorgungswirtschaft 2003“ : Zukunft der Abfallwirtschaft : Ausgangslage, Prognosen, Szenarien und Marktentwicklungen 2006 / 2012, Prognos Studie, Berlin/Köln 2003.

11.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
abh.	abhängig
Abw.	Abweichung

AEVG	Abfall Entsorgungs- und Verwertungs GmbH
AFA	Absetzung für Abnutzung
AISAG	Altlastensanierungsabgabe
As	Arsen
ASA	.A.S.A. Abfallservice AG
ASB	Aufbereiteter Substitut Brennstoff
ASN	Abfallschlüsselnummer
AVE	AVE Energie AG Oberösterreich Umwelt GmbH
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
Ba	Barium
Be	Beryllium
Cd	Cadmium
Cl	Chlor
Co	Kobalt
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
d.F.	de Facto
d.h.	das heißt
EAK	Europäischer Abfallkatalog
EBS	Ersatzbrennstoff(e)
etc.	et cetera
F	Fluor
Fa.	Firma
Fe	Eisen
FE	Eisenfraktion aus Magnetabscheider
FF	Feinfraktion
FLS	F.L.Smith Inc.
GA	Gewerbeabfall
GK	Gesamtsystemkosten
GM	Gewerbemüll
GV	Glühverlust
GWP	Global Warming Potential
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
Hg	Quecksilber
HK	Herstellkosten
Hu	Heizwert (= Unterer Heizwert)
IG-IUT GmbH	IUT Ingenieurgemeinschaft Innovative Umwelttechnik GesmbH
inkl.	Inklusive
KEA	Kumulierter Energie Aufwand

kg	Kilogramm
KW	Kalenderwoche
LCA	Life-Cycle-Assessment
LF	Leichtfraktion
LKW	Lastkraftwagen
M-%	Masseprozent
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlung
MIPS	Material Intensity Per Unit Service
MJ	Megajoule
Mn	Mangan
MS	Aschegehalt
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE	Nicht-Eisen
Ni	Nickel
NO _x	Stickstoffoxide
o. S.	ohne Seitenangabe
o.a.	oben angeführt
OS	Originalsubstanz
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
Pb	Blei
PCB	Polychlorierte Biphenyle
ppm	Parts per million
PVC	Polyvinchlorid
QS	Qualitätssicherung
RVL	Reststoffverwertung Lenzing GmbH
S	Schwefel
SAB	Salzburger Abfallbeseitigung
Sb	Antimon
SDAG	Saubermacher Dienstleistungs AG
SDM	Selective Dissolubility Method
Se	Selen
Sel. Lösl.	Selektive Löslichkeit
SF	Schwerfraktion
SFA	Stoffflussanalyse
SKE	Steinkohleeinheiten
Sn	Zinn
SN	Schlüsselnummer
t	Tonne
Te	Tellur
Th	Thorium
Therm. Beh.	Thermische Behandlung
TJ	Terajoule

tkm	Tonnenkilometer (= Tonne x Kilometer)
Tl	Thallium
TOC	Total Organic Carbon
TRV	Thermische Reststoffverwertung (Niklasdorf)
TS	Trockensubstanz
TT	ThermoTeam
u.a.	unter anderem
UDB	Umweltdienst Burgenland
UEG	Umwelt- und Entsorgungstechnik AG
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
V	Vanadium
v.a.	vor allem
W&P	Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH
WG	Wassergehalt
WISO	Wirbelschichtofen
WS	Wirbelschicht
WSO4	Wirbelschichtofen 4
z.Z.	zur Zeit
Zn	Zink
ZW	Zementwerk

11.3 Tabellen

Tabelle 1: Grundverfahren der EBS-Produktion	30
Tabelle 2: Qualitätsanforderungen HOTDISC-EBS	33
Tabelle 3: Ergebnisse der Laboruntersuchungen	57
Tabelle 4: Ergebnisse der Sortieranalyse für „EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm“	58
Tabelle 5: Inputdefinition des Materials der Erweiterung	60
Tabelle 6: Zusammenfassung der Daten der Outputfraktionen für die Anlagenerweiterung .	62
Tabelle 7: Berechnete Stoffgruppenszusammensetzung des HOTDISC-EBS.....	63
Tabelle 8: Berechnete stoffliche (physikalisch-chemische) Zusammensetzung des HOTDISC-EBS	64
Tabelle 9: Transferkoeffizienten (KW 13)	91
Tabelle 10: Transferkoeffizienten (KW 19)	92
Tabelle 11: Güte der Prognose	104
Tabelle 12: Vergleich der Massenströme	104
Tabelle 13: Gegensätzliche Interessen des EBS-Verwerters und EBS-Lieferanten	115

Tabelle 14: Datenmaterial zur Energiebilanzierung des HOTDISC-EBS	119
Tabelle 15: Ergebnisse der einzelnen Bilanzierungsschritte der CO ₂ -Bilanz.....	121
Tabelle 16: Biogene Anteile in %, bestimmt durch Selektive Löslichkeit und ¹⁴ C-Methode, KW 13 und 19	124
Tabelle 17: Im Störstoff-Abscheider abgeschiedene Fraktionen in %, gemittelt für KW 19 .	125
Tabelle 18: Output verschiedener Verfahrenskonzepte zur Verwertung/Beseitigung von Abfall in % ¹⁾	127
Tabelle 19: Berechnung des Hebels von Splittinganlagen im Vergleich zur MVA	128
Tabelle 20: Auf HOTDISC-EBS zurückführbare Umsatz- und Mengensteigerungen ¹⁾	129
Tabelle 21: Vergleich der Logistikhöfung „HOTDISC-EBS-Transport nach Rohoznik“ mit der alten Lösung „EBS-Transport nach Lenzing“	130
Tabelle 22: Kennzahlen hinsichtlich der Bedeutung der HOTDISC-Löfung für die SDAG ..	130
Tabelle 23: Relevante Kosten des HOTDISC-EBS.....	133
Tabelle 24: Unterschiedliche Behandlungssysteme (Szenarien) für gewerblichen Siedlungsabfall.....	135
Tabelle 25: Gesamtsystemkosten der vier Behandlungssysteme und absolute Einsparungen.....	135

11.4 Abbildungen

Abbildung 1: Primär- und Sekundärfeuerung im Klinkerherstellungsprozess.....	12
Abbildung 2: Thermische und mechanisch-biologische Behandlungsanlagen in Österreich .	16
Abbildung 3: Schwerpunktmäßige Behandlungsarten in den österreichischen Bundesländern	17
Abbildung 4: Verfahrenskreislauf mit Eingliederung der HOTDISC.....	19
Abbildung 5: Funktionsprinzip der HOTDISC	20
Abbildung 6: Abgrenzung heizwertreiche Fraktion und EBS.....	25
Abbildung 7: Grundsystem der MBA ohne Nachaufbereitung des Siebüberlaufes.....	26
Abbildung 8: Grundsystem der MBA mit Nachaufbereitung des Siebüberlaufes.....	27
Abbildung 9: Grundsystem der Splittinganlagen	27
Abbildung 10: Grundsystem der EBS-Produktionsanlagen.....	28
Abbildung 11: EBS-Ausbringen verschiedener Anlagenarten	29
Abbildung 12: EBS-Einsatzmengen in der Österreichischen Zementindustrie	39

Abbildung 13: Substitutionsgrad der Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie ...	40
Abbildung 14: Systemübersicht „Thermische Verwertung von Abfällen“	41
Abbildung 15: Modulaufbau.....	44
Abbildung 16: Aufbau des modularen Produktionsmodells für EBS (Vgl. Anhang-Abb. 31) ..	44
Abbildung 17: Grundriss der SDAG Splittinganlage Wien vor dem Umbau.....	45
Abbildung 18: Verfahrensfliessbild der Gewerbeabfall-Splittinganlage Wien vor Umbau	47
Abbildung 19: Gemischter Gewerbeabfall im Inputlager	48
Abbildung 20: Charakterisierung des Inputmaterials der Splittinganlage (Zusammenhang von Masseausbringen und Heizwert)	49
Abbildung 21: Methodisches Vorgehen für die Erstellung einer SFA.....	51
Abbildung 22: Trommelsieb und Sortierband mit den Probenbehältern im Hintergrund und den Fraktionsbehältern am Boden.....	54
Abbildung 23: Anteile der verschiedenen Fraktionen am Inputmaterial „EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm“	55
Abbildung 24: Streuung der Zusammensetzungen (Sortierfraktionen) im Vergleich zum arithmetischen Mittelwert.....	56
Abbildung 25: Zusätzlich Verfahrensschritte und Massenströme für die neuen Outputfraktionen der Anlagenerweiterung	61
Abbildung 26: Verfahrenstechnische Änderungen zur Anlagenerweiterung.....	67
Abbildung 27: Störstoffe aus Schwer/Leicht-Trennung (1), Störstoffe im Detail (2), Windsichter (Schwer/Leicht-Trennung) zur Störstoffabtrennung (3)	67
Abbildung 28: Maschinentechnische Änderungen und Ergänzungen in der erweiterten Splittinganlage	68
Abbildung 29: Erweiterte Splittinganlage Wien und deren einzelne Bereiche	69
Abbildung 30: Wesentliche Fahrbewegungen innerhalb der Splittinganlage nach Umsetzung der Änderungen	71
Abbildung 31: Bilanzräume der Probenahmewochen 13 und 19	74
Abbildung 32: Güterstromdarstellung mit Massenströmen VOR Änderung (KW 13).....	75
Abbildung 33: Stoffstromdarstellung Aluminium (Al) VOR Änderung (KW 13)	76
Abbildung 34: Aussortiertes Aluminium aus der Leichtfraktion (KW 13).....	76
Abbildung 35: Stoffstromdarstellung Eisen (Fe) VOR Änderung (KW 13).....	77
Abbildung 36: Stoffstromdarstellung Blei (Pb) VOR Änderung (KW 13).....	78
Abbildung 37: Stoffstromdarstellung Kupfer (Cu) VOR Änderung (KW 13).....	78

Abbildung 38: Stoffstromdarstellung Cadmium (Cd) VOR Änderung (KW 13)	79
Abbildung 39: Stoffstromdarstellung Quecksilber (Hg) VOR Änderung (KW 13).....	80
Abbildung 40: Stoffstromdarstellung Chlor (Cl) VOR Änderung (KW 13).....	81
Abbildung 41: Stoffstromdarstellung Störstoffe (Glas, Stein) VOR Änderung (KW 13)	81
Abbildung 42: Tagesprobe Störstoffe (Glas, Steine) Fraktion 20 – 60 mm (KW 13)	82
Abbildung 43: Stoffstromdarstellung – Heizwert (Hu) VOR Änderung (KW 13).....	82
Abbildung 44: Güterstromdarstellung Massenströme NACH Änderung (KW 19).....	83
Abbildung 45: Stoffflussdarstellung Aluminium (Al) NACH Änderung (KW 19)	84
Abbildung 46: Stoffstromdarstellung Eisen (Fe) NACH Änderung (KW 19)	84
Abbildung 47: Stoffstromdarstellung Blei (Pb) NACH Änderung (KW 19)	85
Abbildung 48: Stoffstromdarstellung Kupfer (Cu) NACH Änderung (KW 19)	86
Abbildung 49: Trafospule mit Kupfer, KW 19.....	86
Abbildung 50: Stoffstromdarstellung Cadmium (Cd) NACH Änderung (KW 19).....	87
Abbildung 51: Stoffstromdarstellung Quecksilber (Hg) NACH Änderung (KW 19)	87
Abbildung 52: Stoffstromdarstellung Chlor (Cl) NACH Änderung (KW 19).....	88
Abbildung 53: Stoffstromdarstellung Störstoffe NACH Änderung (KW 19).....	89
Abbildung 54: Stoffstromdarstellung Heizwert (Hu) NACH Änderung (KW 19)	89
Abbildung 55: Probe der Fraktion aus dem Eisenabscheider (Fe < 80 mm) (KW 19)	90
Abbildung 56: Transferkoeffizienten (KW 13)	91
Abbildung 57: Transferkoeffizienten (KW 19)	93
Abbildung 58: Sankey-Diagramme: Gut. Vergleich des Systems KW 13 (Gesamtinput: 458,87 t) zum System KW 19 (Gesamtinput: 1.186,3 t).....	94
Abbildung 59: Sankey-Diagramme: Cadmium (Cd). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19.....	95
Abbildung 60: Sankey-Diagramme: Eisen (Fe). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19	96
Abbildung 61: Sankey-Diagramme: Quecksilber (Hg). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19	97
Abbildung 62: Sankey-Diagramme: Blei (Pb). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19	98
Abbildung 63: Sankey-Diagramme: Störstoffe. Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19	99

Abbildung 64: Sankey-Diagramme: Chlor (Cl). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19	100
Abbildung 65: Sankey-Diagramme: Heizwert (Hu in GJ). Vergleich des Systems KW 13 zum System KW 19	101
Abbildung 66: Vergleich der Analysewerte zur Simulation	102
Abbildung 67: Prozentuelle Abweichung der Prognosewerte von den Analysewerten	102
Abbildung 68: Vergleich der Simulations- und Analysewerte zum jeweiligen Grenzwert.....	103
Abbildung 69: Temperaturprofil der Schüttung, HOTDISC-EBS, Tag 6	107
Abbildung 70: Geschwindigkeitsfeld, HOTDISC-EBS, Tag 6	107
Abbildung 71: Temperaturprofil der Schüttung, HOTDISC-EBS, Tag 78	108
Abbildung 72: Geschwindigkeitsfeld, HOTDISC-EBS, Tag 78	108
Abbildung 73: Zeitlicher Verlauf der maximalen Temperatur in der Schüttung von HOTDISC-EBS	109
Abbildung 74: Zeitlicher Verlauf der maximalen Temperatur in der Schüttung von hochkalorischen feinkörnigen EBS	109
Abbildung 75: Feststofftemperatur und Geschwindigkeitsfeld von hochkalorischen und feinkörnigen EBS im Lager nach 7 Wochen	110
Abbildung 76: Krangreifer mit grobem EBS (Absiebung 120 mm)	111
Abbildung 77: Folierung durch mobile Ballenfoliermaschine (1), folierte Ballen (2), Ballen am Förderband zur HOTDISC (3).....	112
Abbildung 78: Sankey-Darstellung der Energiebilanz des HOTDISC-EBS-Einsatzes im Zementwerk	120
Abbildung 79: Sankey-Darstellung der CO ₂ -Bilanz des HOTDISC-EBS-Einsatzes im Zementwerk	121
Abbildung 80: Transferkoeffizienten – Biogener Anteil, KW 13 und KW 19	125
Abbildung 81: Prozesse und Bilanzräume der Kosten von Sammlung bis Verwertung	132
Abbildung 82: Zusammensetzung der Produktionskosten von HOTDISC-EBS in %.....	133
Abbildung 83: Zusammensetzung der Gesamtsystemkosten von HOTDISC-EBS in %.....	134

ANHANG

Inhalt des Anhangs

I.	Sortieranalyse	I
II.	Qualitäts- u. Massenstromsimulation.....	XVI
III.	Ersatzbrennstoffqualitäten.....	L
IV.	Beschreibung Gewerbeabfall Wien	LIII
V.	Stoffflussanalyse	LVII
VI.	Modulares EBS-Produktionssystem	LXXXII
VII.	Abfallwirtschaftliche Relevanz des HOTDISC-EBS	LXXXX
VIII.	Qualitätssicherungskonzept für die Splittinganlage Wien	CVI
IX.	Fotogalerie Splittinganlage Wien.....	CXXVI
X.	Permeabilität als Grundlage der Untersuchung des Selbsterwärmungsverhalten..	CXXX
XI.	HOTDISC technology.....	CXXXI

Tabellen des Anhangs

Anhang-Tab. 1:	Mittelwerte und Streuung der einzelnen Fraktionen	IX
Anhang-Tab. 2:	Zusammensetzung der Laborprobe A	XI
Anhang-Tab. 3:	Zusammensetzung der Laborprobe B	XIII
Anhang-Tab. 4:	Spezifikationen der Probennummern A und B.....	XV
Anhang-Tab. 5:	Dimensionierung der Qualitäts- und Massenstromsimulation	XVI
Anhang-Tab. 6:	Input-Definition der Qualitäts- und Massenstromsimulation.....	XVII
Anhang-Tab. 7:	Maschinenliste	XIX
Anhang-Tab. 8:	Output Übersicht.....	XXI
Anhang-Tab. 9:	Out 1 – Eisenmetalle aus dem Eisenabscheider	XXII
Anhang-Tab. 10:	Out 1 - Stoffdaten & Schadstoffgehalte	XXIII
Anhang-Tab. 11:	Out 2 – Feinfraktion aus dem Sieb.....	XXIV
Anhang-Tab. 12:	Out 2 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte	XXV
Anhang-Tab. 13:	Out 3 – Nichteisenmetalle aus dem NE-Abscheider.....	XXVI
Anhang-Tab. 14:	Out 3 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte	XXVII

Anhang-Tab. 15: Out 4 – Eisenmetalle aus dem NE-Abscheider	XXVIII
Anhang-Tab. 16: Out 4 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte	XXIX
Anhang-Tab. 17: Out 5 – Schwerfraktion aus dem Windsichter	XXX
Anhang-Tab. 18: Out 5 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte	XXXI
Anhang-Tab. 19: Out 6 – Leichtfraktion aus dem Windsichter	XXXII
Anhang-Tab. 20: Out 6 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte	XXXIII
Anhang-Tab. 21: Verfahrensschritt 101 (FE-Abscheider)	XXXV
Anhang-Tab. 22: Verfahrensschritt 101 – Output nach Box FE	XXXVI
Anhang-Tab. 23: Verfahrensschritt 101 – Output nach 201 Rest.....	XXXVII
Anhang-Tab. 24: Verfahrensschritt 102 (Sieb 20 mm).....	XXXVIII
Anhang-Tab. 25: Verfahrensschritt 102 – Output nach 202 < 20	XXXIX
Anhang-Tab. 26: Verfahrensschritt 102 – Output nach 103 > 20	XL
Anhang-Tab. 27: Verfahrensschritt 103 (NE-Abscheider).....	XLI
Anhang-Tab. 28: Verfahrensschritt 103 – Output nach Container NE.....	XLII
Anhang-Tab. 29: Verfahrensschritt 103 – Output nach Container FE	XLIV
Anhang-Tab. 30: Verfahrensschritt 103 – Output nach 203 Rest.....	XLV
Anhang-Tab. 31: Verfahrensschritt 104 (Windsichter)	XLVI
Anhang-Tab. 32: Verfahrensschritt 104 – Output nach 204 LF.....	XLVII
Anhang-Tab. 33: Verfahrensschritt 104 – Output nach 205 SF	XLVIII
Anhang-Tab. 34: ASB-Produktspezifikation.....	L
Anhang-Tab. 35: Spezifikation Abfall-Brennstoffe RVL.....	LI
Anhang-Tab. 36: Formular für die Sortieranalyse	LIII
Anhang-Tab. 37: Mathematische Grundlagen für die Heizwertkennlinien-Methode.....	LIV
Anhang-Tab. 38: Berechnungsbeispiel Heizwertkennlinien	LV
Anhang-Tab. 39: Untersuchte Fraktionen und Parameter, KW13.....	LVII
Anhang-Tab. 40: Proben und Aufbereitung – KW13.....	LIX
Anhang-Tab. 41: Probenanzahl und Mengen – KW13.....	LX
Anhang-Tab. 42: Methodik zur Bestimmung der Gehalte der Fraktionen – KW13	LXI
Anhang-Tab. 43: Untersuchte Fraktionen und Parameter, KW19.....	LXII
Anhang-Tab. 44: Proben und Aufbereitung – KW18.....	LXIII
Anhang-Tab. 45: Probenanzahl und Mengen – KW19.....	LXV

Anhang-Tab. 46: Methodik zur Bestimmung der Gehalte der Fraktionen – KW19	LXVI
Anhang-Tab. 47: Berechnung des Energieaufwandes für den Bereich Sammlung	XC
Anhang-Tab. 48: Berücksichtigung der prozentuellen Verteilung der Fraktionen	XCI
Anhang-Tab. 49: Berechnung des Energieaufwandes für die Aufbereitung des HOTDISC-EBS	XCII
Anhang-Tab. 50: Berechnung des Energieaufwandes für den Bereich Transport.....	XCIII
Anhang-Tab. 51: Reaktionen und zugehörige Enthalpien der Klinkerproduktion	XCIII
Anhang-Tab. 52: Berechnung der Verluste zwischen tatsächlichen und theoretischen Energiebedarf	XCIV
Anhang-Tab. 53: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit jenen der Literatur bezüglich des Verlusts der Klinkertemperatur	XCIV
Anhang-Tab. 54: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit den Werten in der Literatur bezüglich des Energieaufwandes zur Trocknung des Rohmehls	XCVI
Anhang-Tab. 55: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit den Werten in der Literatur bezüglich der Wärmeverluste im Rauchgas und durch Kühlluft im Klinker-Kühler.....	XCVIII
Anhang-Tab. 56: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit den Werten in der Literatur bezüglich der Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion	XCVIII
Anhang-Tab. 57: Anteil des HOTDISC-EBS an der gesamten Zufeuerung	C
Anhang-Tab. 58: Errechnung der tatsächlichen Energie, die vom HOTDISC-EBS kommt	C
Anhang-Tab. 59: Berücksichtigung des CO ₂ -Ausstoßes durch die Sammlung	CII
Anhang-Tab. 60: Berücksichtigung des CO ₂ -Ausstoßes durch die Aufbereitung	CIII
Anhang-Tab. 61: Berücksichtigung des CO ₂ -Ausstoßes durch den Transport	CIII
Anhang-Tab. 62: Analysenergebnisse des Kohlenstoffgehalts	CIV
Anhang-Tab. 63: Ergebnisse der einzelnen Bilanzierungsschritte der CO ₂ -Bilanz.....	CVI

Abbildungen des Anhangs

Anhang-Abb. 1: Durchführung und Anordnung der Sortieranalyse	IV
Anhang-Abb. 2: Aufstellung des Trommelsiebes und des Sortierbandes mit den Probenbehältern im Hintergrund und den Fraktionsbehältern am Boden	V
Anhang-Abb. 3: Bunker für EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm.....	VI
Anhang-Abb. 4: Zur Probennahme verwendete Behälter („Palox“).....	VI

Anhang-Abb. 5: Vorbereitete Laborprobe mit Probe für Auswaschversuch und Sortieranalysen	VIII
Anhang-Abb. 6: Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen [M-%]	XI
Anhang-Abb. 7: Zusammensetzung nach Fraktionen in M-%	XIII
Anhang-Abb. 8: Massenströme der Qualitäts- und Massenstromsimulation	XVIII
Anhang-Abb. 9: Kennliniendiagramm	LVI
Anhang-Abb. 10: Probenahmestellen, KW 13	LVIII
Anhang-Abb. 11: Viertelung der Tagesprobe 20 – 60 mm, 30.03.06 - KW 13	LIX
Anhang-Abb. 12: Zerkleinerung mittels DWZ, 90.05.06 - KW 19	LX
Anhang-Abb. 13: Probenahmestellen, KW 19	LXIII
Anhang-Abb. 14: Beprobung aus dem Abwurf 0 – 20 mm (28.03.06) und Kübel mit gezogener Probe (30.03.06) - KW 13	LXVII
Anhang-Abb. 15: Vorsortierung einer gezogenen TT-Probe – 29.03.06, KW 13	LXVIII
Anhang-Abb. 16: Probenahmestelle 20-80 mm, 09.05.06 - KW 19	LXIX
Anhang-Abb. 17: Probenahmestelle NE-Abscheider – Fef-Container, 09.05.06 – KW 19 .	LXX
Anhang-Abb. 18: Probenahmestelle NE-Abscheider – NE-Container, 09.05.06 – KW 19.	LXXI
Anhang-Abb. 19: Proben der Fraktion 20 – 80 mm Output – 10.05.06 - KW 19	LXXII
Anhang-Abb. 20: Probenahmestelle Störstoff-Container, 11.05.06 - KW 19	LXXII
Anhang-Abb. 21: Sankey-Diagramme: Aluminium. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 8,10 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 15,64 t)	LXXIII
Anhang-Abb. 22: Sankey-Diagramme: Chrom. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 47,39 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 58,59 kg)	LXXIV
Anhang-Abb. 23: Sankey-Diagramme: Fluor. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 59,34 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 185,98 kg)..	LXXV
Anhang-Abb. 24: Sankey-Diagramme: Glas. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 5,14 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 6,29 t)	LXXVI
Anhang-Abb. 25: Sankey-Diagramme: Kupfer. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 1,66 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 2,73 t)	LXXVII
Anhang-Abb. 26: Sankey-Diagramme: Nickel. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 35,38 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 50,55 kg).	LXXVIII
Anhang-Abb. 27: Sankey-Diagramme: Stein. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 14,97 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 39,50 t)	LXXIX

Anhang-Abb. 28: Sankey-Diagramme: Zink. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 172,12 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 332,36 kg).....	LXXX
Anhang-Abb. 29: Sankey-Diagramme: Zinn. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 1,28 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 19,81 kg)	LXXXI
Anhang-Abb. 30: Modulares EBS-Produktionssystem.....	LXXXVIII
Anhang-Abb. 31: Aufbau des modularen Produktionsmodells für EBS	LXXXIX
Anhang-Abb. 32: Ablauf Material -Annahme	CIX
Anhang-Abb. 33: Fließbild Splittinganlage Wien.....	CXI
Anhang-Abb. 34: Prinzip der Probenahme für loses Material (Bulk)	CXIII
Anhang-Abb. 35: Fließbild Thermo- Team -Anlage	CXV
Anhang-Abb. 36: Sieb Feinfraktion (15 mm Sieblochung)	CXXVII
Anhang-Abb. 37: Überband Magnetabscheider (Fe Schrott) und Wirbelstrom- scheider (NE).....	CXXVII
Anhang-Abb. 38: Windsichter (Störstoff-Abscheider)	CXXVIII
Anhang-Abb. 39: Sieb Feinfraktion und Befüllung Container	CXXVIII
Anhang-Abb. 40: Anlieferbereich.....	CXXIX
Anhang-Abb. 41: Lagerbox HOTDISC-EBS (Tageslager)	CXXIX
Anhang-Abb. 42: Vorzerkleinerer Lindner Jupiter	CXXX
Anhang-Abb. 43: Vorzerkleinerer Lindner Jupiter mit Rückführband (Kreislaufzer kleinerung), im Hintergrund Magnetabscheider und Kreisschwingsieb (80 mm).....	CXXX

I. SORTIERANALYSE

A. Fraktionen Beispiellisten

- **Fraktion 1 - Papier / Pappe / Kartonagen**

Faltschachteln aus Karton und Pappe, Wellpappesteigen, Eierverpackung, Schuhschachteln, Versteifungskartons (z.B. für Hemden), Verpackung bestimmter Lebensmittel (Reis, Cornflakes,...) und Tiefkühlwaren, Pappetaschen (Mehlspeisen, Würste), Waschmitteltrommeln, Aktenordner, Buchrücken, Versteifungskartons (z.B. Schreibblocks), Pappkerne, Papiertüten, Papierbeutel, Tragetaschen, Kraftpapiersäcke, Zucker- und Mehlverpackungen, Verpackungsschleifen (z.B. für Kleintextilien), Packpapier, Geschenkpapier, Drucksorten, Kuverts, Servietten, Schreibpapier, Hygienekrepp, Küchenrollen, Papiertaschentücher, Etikettenträgerpapiere, Bücher

- **Fraktion 2 - Holz / Spanplatten / Sonstige Holzanteile**

Bearbeitetes Holz, Möbel, Holzwolle, Holzsteigen, Faserplatten, Bürsten

- **Fraktion 3 - Kunststofffolien**

Schrumpffolien, Tragetaschen, Müllsäcke, Klarsichtbeutel, Vakuumverpackungen, Wickelfolien, Baufolien, Overheadfolien, Dekorfolien, Klebebänder, Heftumschläge

- **Fraktion 4 - Kunststoffrohre**

Kanalrohre, Wasserleitungsrohre

- **Fraktion 5 - Hartkunststoffe / Kabelhüllen**

„Dreh und Drink“- Flaschen, Getränke- und Joghurttrinkflaschen, Joghurtbecher, Becher von sonstigen Milchprodukten, Kunststofftuben, Verschlüsse, Verpackungen von Kosmetika, Haushaltreinigern, Kunststoffdosen, Eierverpackungen, Styroporverpackungen, Fleisch- und Obsttassen, Kübel (Farbeimer oder Senfkübel), Kleiderbügel, Aktenordner, Spielzeug, Bälle, Schläuche, Spritzgussteile, Lagerbehälter, Küchengeräte (Kochlöffel, Einwegbesteck), Teller, Trink- oder Zahnputzbecher, Abflussrohre, Bürowaren, Rührschüsseln, Gefrierbehälter, Blumentöpfe, Gießkannen, Besen, Puppen, Zahnbürsten, Kämmen, Schischuh, Infusionsbesteck, Haushaltseimer, Schaumgummimatratzen Styropor, Schaumstoffe, Putzschwämme, PET-Flaschen, Kunststoffkanister

- **Fraktion 6 - PVC-Bodenbeläge**

- **Fraktion 7 - Bodenbeläge / Teppiche**

- **Fraktion 8 - Textilien**

Textilsäcke, Jutesäcke, Bekleidung, Unterwäsche, Bett- und Tischwäsche, Handtücher, Heimtextilien (Vorhänge,...), gewebte und gestrickte Stoffe, Wolle, Netze, Windeln, Damenbinden, Tampons

- **Fraktion 9 - Leder / Kunstleder / Schuhe**

Schuhteile, Handschuhe, Kleidungsstücke ohne Textil

- **Fraktion 10 - Gummi / Altreifen**

- **Fraktion 11 - Schaumstoff**

Schaumstoffmatratzen, Latexschaumstoff

- **Fraktion 12 - Styropor**

Reines Baustyropor, Verpackungsflocken, Elektronikverpackungen

- **Fraktion 13 - Bau-Schäume**

PUR-Schäume (Fensterschäume), PUR-Platten (Kellerdämmung)

- **Fraktion 14 – Farbeimer**

- **Fraktion 15 - Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)**

Schraubenzieher, Kunststoffbauteil mit Eisenmetallbuchse

- **Fraktion 16 - Verbundstoffe (nicht magnetisierbar)**

Verbundkarton für Getränke, Milch und Milchprodukte, Tiefkühlpackungen (Gemüse, Fisch,...), Verpackungen für z.B. Fertigsuppe, Käse, Backwaren, Zuckerwaren, Schokolade und Kaffee, Verbundfolienbeutel, Verbundkarton für Speiseöl, leere Medikamentenverpackungen, Zigarettenpackungen, Kaschierte Pappe, Geräte (Haushaltsgeräte, HiFi, Werkzeuge, etc.), Sportartikel (z.B. Ski), beschichtete Tischtücher, KFZ- Zubehör (Spoiler,...), Kabel

- **Fraktion 17 – Teerpappe**

- **Fraktion 18 - Biogene Abfälle**

Schnittblumen, Mäh- und Schnittgut, Äste, Humus und Erde, Laub, Speisereste, Korken, Zubereitungsabfälle, Eierschalen, Brot, Knochen

- **Fraktion 19 - FE-Metalle (magnetisierbar)**

Getränkedosen, Konservendosen für Fisch- und Fleischwaren, Tierfutter, leere Spraydosen, restentleerte Dosen für Speise- und Motoröl, restentleerte Farb- und Lackdosen, Nägel, Schrauben, Beschläge, Bleche, Schlösser, Werkzeug, KFZ- Teile, Drähte (Kleiderbügel, Schweißdraht), Hülsen, Felgen

- **Fraktion 20 - NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)**

Alu- Getränkedosen, Alufolien, Tuben, Fertigenübehälter, Pharma-Verpackung, Armaturen, Nägel, Schrauben, Beschläge, Bleche, Schlösser, Werkzeug, KFZ- Teile, Drähte (Kleiderbügel, Schweißdraht), Kabel, Hülsen, Felgen

- **Fraktion 21 - Glas**

Einwegflaschen, Mehrwegflaschen für Getränke, Milch und flüssige Milchprodukte, Weithalsgläser, Flakons, Trinkgläser, Fensterglas, Milchglas, Spiegel, Laborgefäße, Küchenglas, Brillenglas

- **Fraktion 22 - Elektronikschrott / Leiterplatten**

- **Fraktion 23 - Problemstoffe / Batterien / Medikamente**

Batterien, Medikamente, Leuchtstoffröhren, Farben, Lacke, Lösungsmittel, Insektizide, Herbizide, Altöl, Frostschutzmittel, nicht restentleerte Spraydosen, Spritzen mit Nadeln, Asbestzementplatten, Asbestabfälle

- **Fraktion 24 - Inertstoffe / Steine / Bauschutt**

Schutt, Asche, Schlacke, Steine, Ziegel, Keramik, Porzellan, Gips und Beton, mineralische Tierstreu

- **Fraktion 25 - Gipskartonplatten**

- **Fraktion 26 - Fraktion kleiner 20mm**

Siebdurchgang

- **Fraktion 27 - Sortierrest**

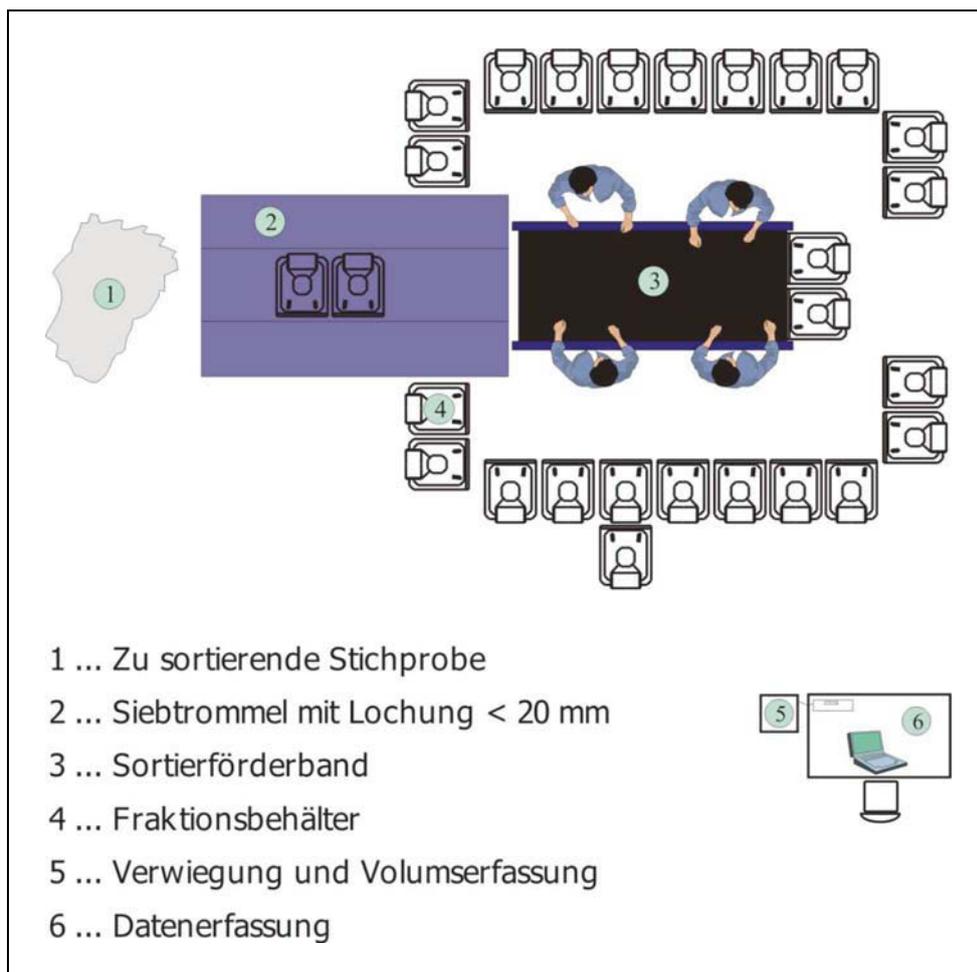
Mineralwolle, Federn, zement- oder magnesitgebundene Holzwolleplatten, Kerzen, Staubsaugerbeutel

B. Ablauf der Sortieranalysen

Die eigentliche Analyse am Sortierort erfolgte durch händische Sortierung, wobei folgende mobile Ausrüstung unterstützend zur Verfügung stand:

- Sortiertrommel mit 20 mm Lochung
- Sortierförderband
- elektronische Waagen
- diverse Behälter

Die folgende Abbildung zeigt die Anordnung der Sortieranalyse.



Anhang-Abb. 1: Durchführung und Anordnung der Sortieranalyse



Anhang-Abb. 2: Aufstellung des Trommelsiebes und des Sortierbandes mit den Probenbehältern im Hintergrund und den Fraktionsbehältern am Boden

Da, bedingt durch die geringe Korngröße von kleiner 80 mm, in der händischen Sortierung nicht der gesamte Probenumfang analysiert werden konnte, wurden die einzelnen Inhalte der 16 Probenbehälter jeweils „geviertelt“ (Grund: Verringerung der Probenmenge bei gleich bleibender Zusammensetzung). Damit konnten je Probe zwischen 100 und 200 Liter analysiert werden, die einen repräsentativen Querschnitt über die gesamte Probe darstellen.

Nach der Viertelung der Probe wurde diese durch das Trommelsieb bei 20 mm abgesiebt, um die nach der Anlagensiebung noch im Material verbliebenen Feinmaterialien abzuscheiden. Die Beschickung des Siebes erfolgt per Handwerkzeug. Hierbei wurde besonders auf eine vollständige Aufgabe (= alle Fein- und Grobanteile) des geviertelten Materials geachtet.

Das Überkorn wurde händisch, durch Klauben, auf dem Sortierförderband in die einzelnen Sortierfraktionen getrennt. Geringere Feinanteile, sog. Anhaftungen, verblieben auf dem Sortierband. Diese wurden nochmals bei 20 mm gesiebt. Damit wurde eine möglichst „saubere“ Überkornfraktion gewährleistet. Das daraus verbleibende Überkorn wurde nochmals sortiert.

Nach der Sortierung wurden sowohl das Gewicht (elektronische Laborwaage) als auch das Volumen (visuelle Ermittlung) der ausgeklaubten und abgesiebten Fraktionen bestimmt. Aus diesen Daten wurde später die Zusammensetzung nach dem Gewicht und nach dem Volumen für jede Stichprobe errechnet.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen den Probenahmeort sowie die zur Probenahme verwendeten Behälter.



Anhang-Abb. 3: Bunker für EBS Wirbelschicht ofenfertig 20 – 80 mm



Anhang-Abb. 4: Zur Probennahme verwendete Behälter („Palox“)

Besondere Probennahme der „Laborproben“

Bei den Laborproben wurde darauf geachtet, einen möglichst „breiten“ Querschnitt über einen Halbtage zu erreichen. Daher wurden fünf anstatt zweier Zeitpunkte für diese beiden Pro-

ben gewählt. Die Bezeichnung dieser beiden Proben erfolgte ebenfalls mit Datum und Uhrzeiten der Probennahmen.

Grundsätzlich erfolgte die Probennahme selbst (= Unterfahren des Bandes mit dem Stapler) gleich wie bei den anderen Proben auch, nur wurde hier pro Zeitpunkt weniger Material (je Zeitpunkt rund 100 Liter) gezogen.

Zusätzlich zu den Probenbehältern („PALOX“-Behälter ca. 500 Liter) wurden aus der Schicht jedes Zeitpunktes eine Menge von rund 40 Litern aus dem Probenbehälter in einen eigenen Behälter (240 Liter Abfalltonne) abgezweigt. Gleich, jedoch mit geringerer Menge, wurde mit dem Material für den Auswaschversuch der IG-IUT verfahren. Dazu wurden rund 5 Liter je Schicht entnommen.

Daraus ergaben sich je Laborprobe Probengrößen von rund 500 Litern für die weiteren Laboranalysen (Heizwert- und Schadstoffuntersuchungen), von rund 200 Litern für die Sortieranalysen sowie rund 25 Liter für die Auswaschversuche.

Durch die oben angeführte Vorgangsweise war auch sichergestellt, dass das gleiche Material für alle Analysen zur Verfügung steht.

Weiters wurden nach den Sortieranalysen die Feinfraktionen kleiner 20 mm der beiden Laborproben (je rund 20 Liter) in 2-schichtige Säcke abgefüllt und dicht verschlossen. Die Probenauszüge für die Auswaschversuche wurden ebenfalls in Säcken abgepackt und verschlossen. Auch die Probenbehälter für die Laboranalysen wurden mittels Folie abgedeckt um eine Austrocknung zu verhindern. Diese wurden nach Ende der Sortieranalysen gemeinsam mit den Feinfraktionen am Gelände der SDAG unter Dach bis zum Transport zu den weiteren Analysen zwischengelagert.

Nachstehende Abbildung zeigt die vorbereitete Laborprobe mit Probe für Auswaschversuch und Sortieranalysen:



Anhang-Abb. 5: Vorbereitete Laborprobe mit Probe für Auswaschversuch und Sortieranalysen

C. Streuung der Sortieranalyse

In nachstehender Tabelle sind die Mittelwerte sowie die Streuung für die einzelnen Fraktionen der Sortieranalyse dargestellt:

Anhang-Tab. 1: Mittelwerte und Streuung der einzelnen Fraktionen

Fraktion		Mittelwert [M-%]		Streuung [M-%]	
Nr.	Bezeichnung	Gewichtet ¹	Arithmeth.	Maximum	Minimum
1	Papier / Pappe /Kartonagen	24,10	24,68	48,58	13,90
2	Holz / Spanplatten / Sonstige Holzanteile	16,77	16,13	30,83	5,42
3	Kunststofffolien	5,11	5,41	10,28	2,11
4	Kunststoffrohre	0,33	0,35	1,49	0,00
5	Hartkunststoffe / Kabelhüllen	10,38	11,01	22,00	4,64
6	PVC-Bodenbeläge	1,27	1,28	7,93	0,08
7	Bodenbeläge / Teppiche	1,07	1,02	2,38	0,11
8	Textilien	2,22	2,03	9,20	0,55
9	Leder / Kunstleder / Schuhe	0,24	0,24	2,47	0,00
10	Gummi / Altreifen	1,21	1,17	5,51	0,00
11	Schaumstoff	0,24	0,26	0,85	0,04
12	Styropor	0,60	0,63	1,23	0,18
13	Bau-Schäume	0,31	0,31	0,94	0,04
14	Farbeimer	0,01	0,01	0,21	0,00
15	Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	0,21	0,22	1,34	0,00
16	Verbundstoffe (nicht magnetisierbar)	0,79	0,77	2,72	0,00
17	Teerpappe	1,76	1,77	6,79	0,26
18	Biogene Abfälle	2,68	2,69	7,32	0,30
19	FE-Metalle (magnetisierbar)	0,32	0,31	2,33	0,00
20	NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	1,44	1,42	3,87	0,52

¹ Für den „gewichteten Mittelwert“ wurden jeweils die Gewichte einzelnen Proben, genauer die Gewichte der jeweiligen Stoffgruppen (1 – 27), addiert. Der unterschiedliche Umfang der Einzelproben geht damit in dieser Betrachtung ein, d.h. größere Proben werden in Relation zu ihrem größeren Gewicht berücksichtigt.

21	Glas	2,41	2,43	6,84	0,36
22	Elektronikschrott / Leiterplatten	0,03	0,03	0,23	0,00
23	Problemstoffe / Batterien / Medikamente	0,01	0,01	0,09	0,00
24	Inertstoffe / Steine / Bauschutt	9,04	9,15	16,11	0,94
25	Gipskartonplatten	0,38	0,35	1,22	0,00
26	Fraktion kleiner 20 mm	15,39	14,90	28,78	5,75
27	Sortierrest	1,65	1,43	13,50	0,00

D. Sortieranalysen der Laborproben

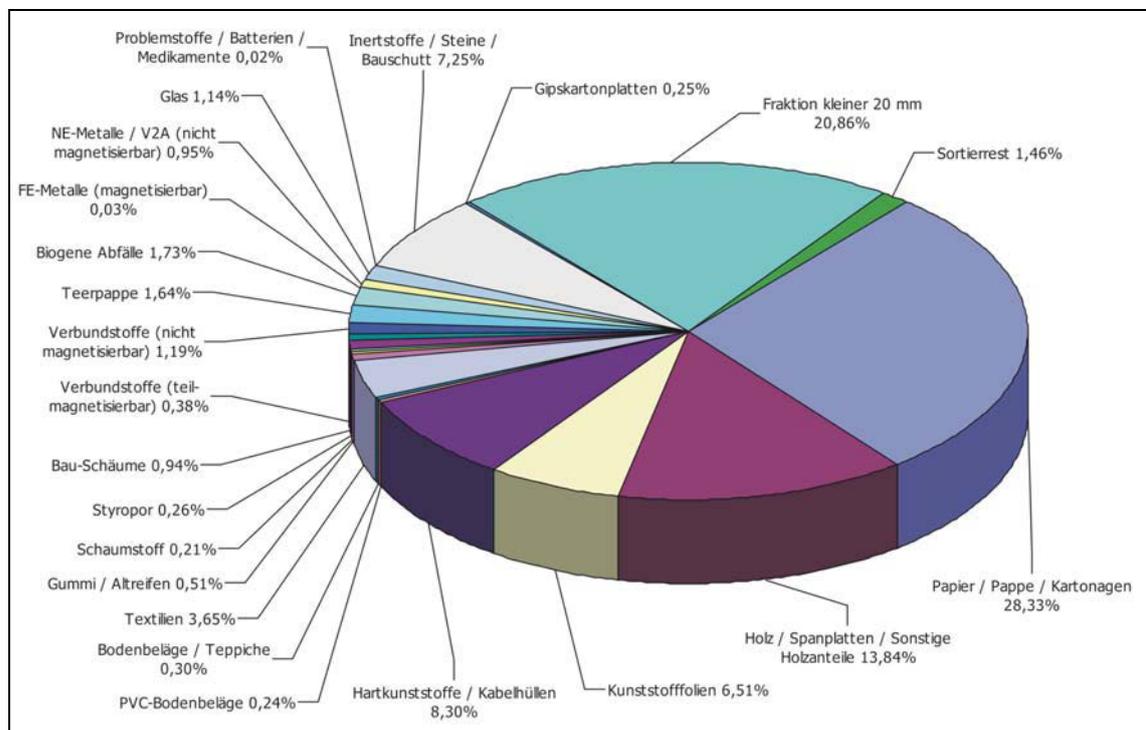
Die Proben 14 (Laborprobe A) und 15 (Laborprobe B) wurden in etwas anderer Form gezogen und für weitere Laboranalysen vorbereitet.

Nachstehend werden die Ergebnisse der Sortieranalysen wie auch der weiterführenden Laboranalysen dargestellt.

1. Laborprobe A (Probe 14)

Ergebnis der Sortieranalysen

Zusammensetzung nach Fraktionen in M-%



Anhang-Abb. 6: Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen [M-%]

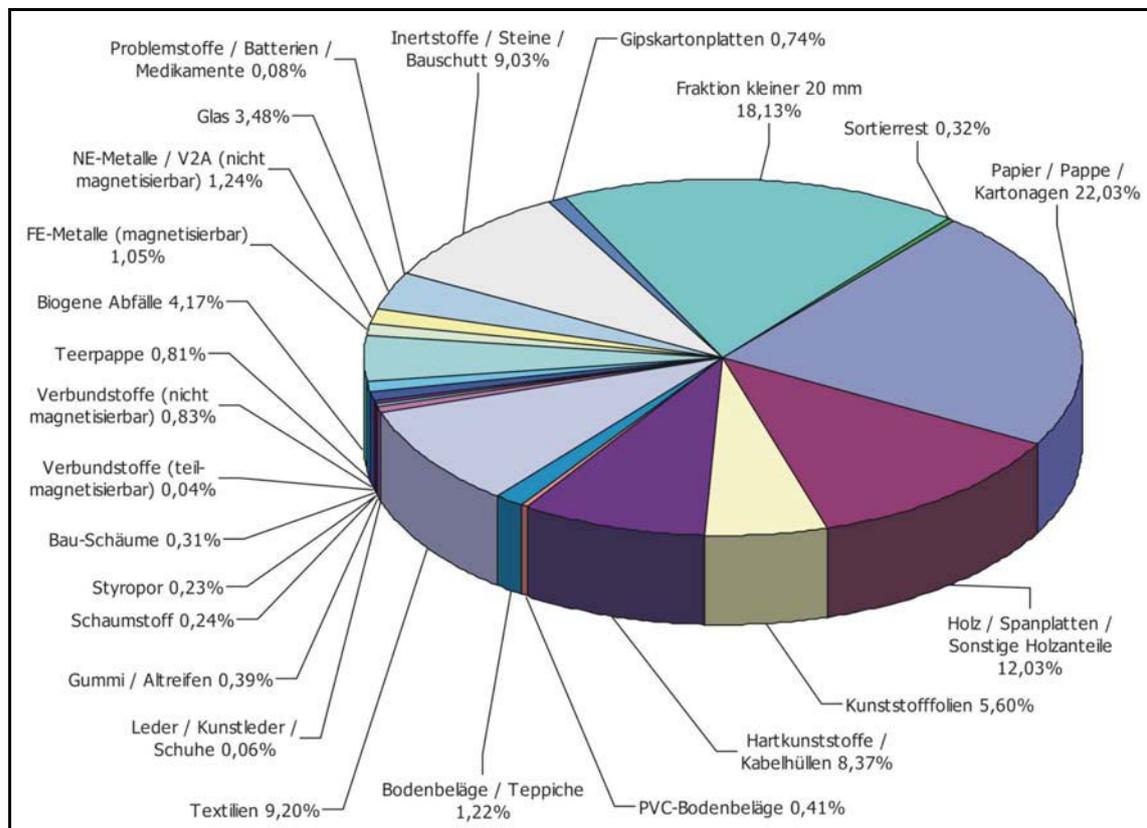
Anhang-Tab. 2: Zusammensetzung der Laborprobe A

Laborprobe A (Analyse-Nr. 14)		Zusammensetzung	
Nr.	Bezeichnung	M-%	Vol%
1	Papier / Pappe / Kartonagen	28,33	33,83
2	Holz / Spanplatten / Sonstige Holzanteile	13,84	8,89
3	Kunststofffolien	6,51	17,49
4	Kunststoffrohre	0,00	0,00

5	Hartkunststoffe / Kabelhüllen	8,30	6,02
6	PVC-Bodenbeläge	0,24	0,11
7	Bodenbeläge / Teppiche	0,30	0,34
8	Textilien	3,65	5,16
9	Leder / Kunstleder / Schuhe	0,00	0,00
10	Gummi / Altreifen	0,51	0,46
11	Schaumstoff	0,21	1,15
12	Styropor	0,26	1,43
13	Bau-Schäume	0,94	4,30
14	Farbeimer	0,00	0,00
15	Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	0,38	0,11
16	Verbundstoffe (nicht magnetisierbar)	1,19	0,57
17	Teerpappe	1,64	0,57
18	Biogene Abfälle	1,73	0,86
19	FE-Metalle (magnetisierbar)	0,03	0,01
20	NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	0,95	0,86
21	Glas	1,14	1,17
22	Elektronikschrott / Leiterplatten	0,00	0,00
23	Problemstoffe / Batterien / Medikamente	0,02	0,03
24	Inertstoffe / Steine / Bauschutt	7,25	0,86
25	Gipskartonplatten	0,25	0,14
26	Fraktion kleiner 20 mm	20,86	14,05
27	Sortierrest	1,46	2,58

2. Laborprobe B (Probe 15)

Ergebnis der Sortieranalysen



Anhang-Abb. 7: Zusammensetzung nach Fraktionen in M-%

Anhang-Tab. 3: Zusammensetzung der Laborprobe B

Laborprobe A (Analyse-Nr. 14)		Zusammensetzung	
Nr.	Bezeichnung	M-%	Vol-%
1	Papier / Pappe / Kartonagen	22,03	28,06
2	Holz / Spanplatten / Sonstige Holzanteile	12,03	8,85
3	Kunststofffolien	5,60	18,30
4	Kunststoffrohre	0,00	0,00
5	Hartkunststoffe / Kabelhüllen	8,37	7,32
6	PVC-Bodenbeläge	0,41	0,24
7	Bodenbeläge / Teppiche	1,22	0,92
8	Textilien	9,20	10,98
9	Leder / Kunstleder / Schuhe	0,06	0,06
10	Gummi / Altreifen	0,39	0,49

11	Schaumstoff	0,24	1,53
12	Styropor	0,23	1,53
13	Bau-Schäume	0,31	1,83
14	Farbeimer	0,00	0,00
15	Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	0,04	0,02
16	Verbundstoffe (nicht magnetisierbar)	0,83	0,49
17	Teerpappe	0,81	0,43
18	Biogene Abfälle	4,17	2,14
19	FE-Metalle (magnetisierbar)	1,05	0,31
20	NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	1,24	0,92
21	Glas	3,48	0,73
22	Elektronikschrott / Leiterplatten	0,00	0,00
23	Problemstoffe / Batterien / Medikamente	0,08	0,06
24	Inertstoffe / Steine / Bauschutt	9,03	1,83
25	Gipskartonplatten	0,74	0,49
26	Fraktion kleiner 20 mm	18,13	12,20
27	Sortierrest	0,32	0,31

E. Auswaschversuch

Um den Einfluss der inerten bzw. organischen Anhaftungen auf die gewonnenen Brennstofffraktionen feststellen zu können wurden zusätzlich zu den Proben für die chemische Analyse auch Stichproben für einen sog. Auswaschversuch durchgeführt.

Aus dem Probenmaterial der Probe A wurden 5,18 kg entnommen und in einen Plastiksack luftdicht verschlossen. Im Labor wurden die Einzelteile dieser Probe händisch mittels normalen Leitungswasser und unter Zuhilfenahme einer einfachen Reinigungsbürste gewaschen. Das Waschwasser wurde aufgefangen und über einen herkömmlichen Papierfilter gereinigt und somit die abfilterbaren Stoffe gewonnen. Um einen Rückschluss auf die Masse der ursprünglichen Probe zu erhalten, wurde der Rückstand in einem Trocknungsschrank ca. 4 h bei $T^\circ = 102 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ und bis zur Erreichung einer Gewichtskonstanz getrocknet.

Auf Basis, des aus der Laboranalyse ermittelten Wassergehaltes der Laborprobe A von 13,11 %, wurde der Massenanteil der ausgewaschenen Feinanteile auf die Gesamtmasse der Probe von 5,18 kg hochgerechnet und somit der M-%-Anteil ermittelt. Eine Glühverlustbestimmung konnte nicht durchgeführt werden. Der organische Anteil an der ausgewaschenen Fraktion wurde daher auch nicht bestimmt. Dieser ist jedoch sehr stark vom Inputmaterial abhängig. So konnte diese explizit bei einem erhöhten Anteil von Gipskartonplatten im Inputmaterial beobachtet werden, wo der Inertanteil an der Feinfraktion augenscheinlich ca. 90 M-% betragen hat.

Anhang-Tab. 4: Spezifikationen der Probennummern A und B

	Gewicht Ausgangsmaterial in g	Gewicht Trockensubstanz Rückstand in g	Feuchtgehalt Probenmaterial lt. Analyse in %	Anteil Feinfraktionsanhaftungen am Input in M-%
Probennr. A	5.180	231	13,11	5,03
Probennr. B	6.870	489	26,10	8,97

II. QUALITÄTS- UND MASSENSTROMSIMULATION

A. Dimensionierung

Anhang-Tab. 5: Dimensionierung der Qualitäts- und Massenströmsimulation

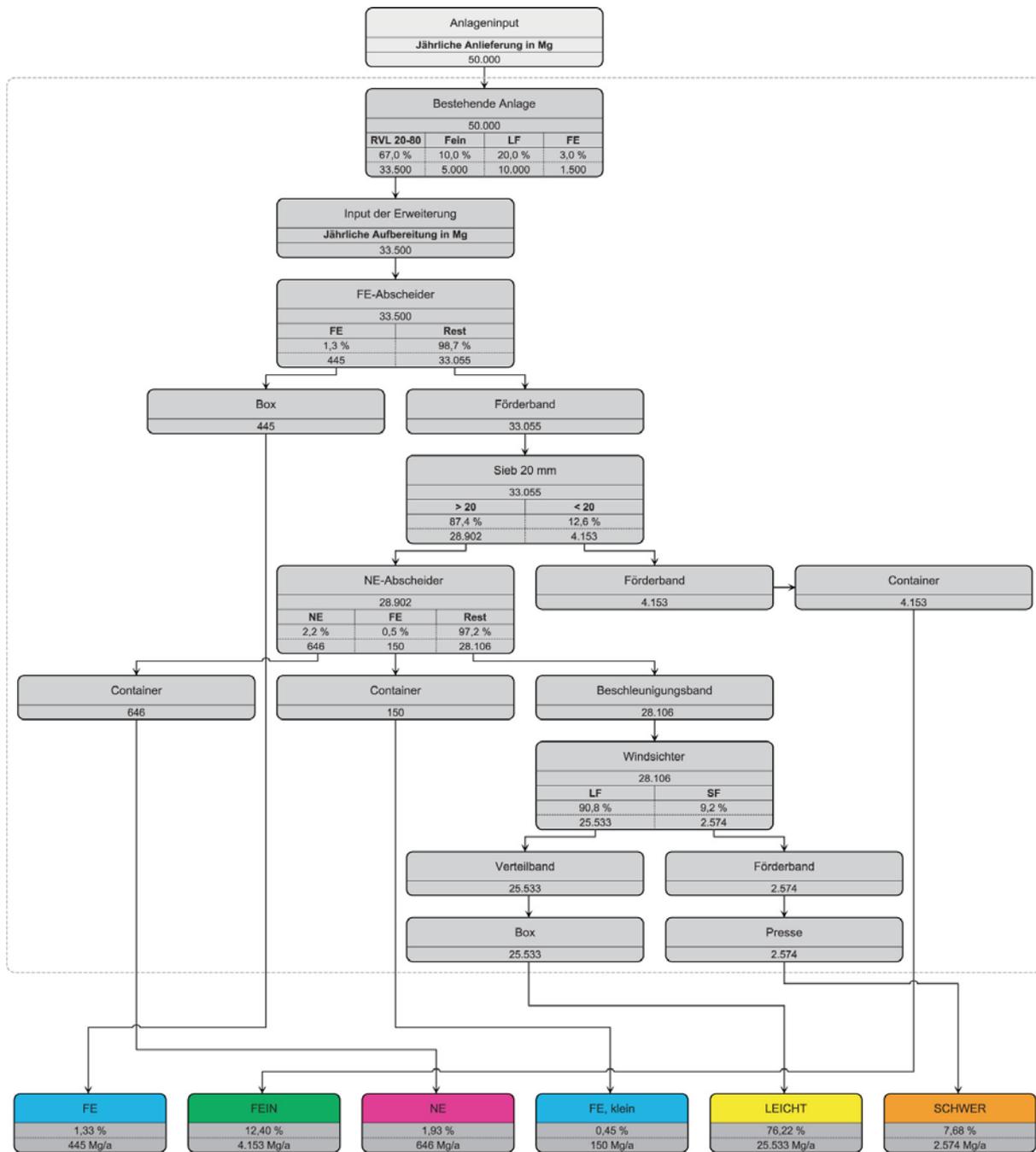
Dimensionierung			
Input – In Aufbereitungsanlage			
Jährlich	Tonnen pro Jahr	[t/a]	50.000
Täglich	Tonnen pro Tag	[t/d]	200,00
Stündlich	Tonnen pro Stunde	[t/h]	15,10
Aufbereitungsanlage			
Betriebszeiten (inkludiert Anlagenzeiten, Wartung, Reinigung und Stillstand)			
Jährlich	Wochen pro Jahr	[Wochen/a]	50
Wöchentlich	Tage pro Woche	[d/Woche]	5
Schicht-Arbeit	Stunden pro Schicht	[h/Schicht]	8,0
	Schichten pro Tag	[Schichten/d]	2
Anlagenzeiten (Netto-Behandlungszeit – Aufgabe auf die Anlage möglich)			
Betriebsfaktor	Anteil der tatsächlichen Aufgabezeit von der Betriebszeit		83,0 %
Jährlich	Tage pro Jahr	[d/a]	250
	Stunden pro Jahr	[h/a]	3.320
Täglich	Stunden pro Tag	[h/d]	13,3
Anteile der Fraktionen in der bestehenden Aufbereitung			
RVL 20-80 mm	Material für die Erweiterung	[%]	67,0%
Feinfraktion	der bestehenden Anlage	[%]	10,0%
Leichtfraktion		[%]	20,0%
Eisenmetalle		[%]	3,0%

B. Input-Definition

Anhang-Tab. 6: Input-Definition der Qualitäts- und Massenströmsimulation

Fraktionsbezeichnungen		Input
1	Papier / Pappe / Kartonagen	24,10 %
2	Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	16,77 %
3	Kunststofffolien	5,11 %
4	Kunststoffrohre	0,33 %
5	Hartkunststoffe / Kabelhüllen	10,38 %
6	PVC-Bodenbeläge	1,27 %
7	Bodenbeläge / Teppiche	1,07 %
8	Textilien	2,22 %
9	Leder / Kunstleder / Schuhe	0,24 %
10	Gummi / Altreifen	1,21 %
11	Schaumstoff	0,24 %
12	Styropor	0,60 %
13	Bau-Schäume	0,31 %
14	Farbeimer	0,01 %
15	Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	0,21 %
16	Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	0,79 %
17	Teerpappe	1,76 %
18	Biogene Abfälle	2,68 %
19	FE-Metalle (magnetisierbar)	0,32 %
20	NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	1,44 %
21	Glas	2,41 %
22	Elektronikschrott / Leiterplatten	0,03 %
23	Problemstoffe / Batterien / Medikamente	0,01 %
24	Inertstoffe / Steine / Bauschutt	9,04 %
25	Gipskartonplatten	0,38 %
26	Fraktion kleiner 20mm	15,39 %
27	Sortierrest	1,65 %

C. Massenströme



Anhang-Abb. 8: Massenströme der Qualitäts- und Massenstromsimulation

D. Maschinenliste

Anhang-Tab. 7: Maschinenliste

Maschinenliste (Standardvariante)					
Identifikation - Anlagenteil					
Nummer	Gewählte Anzahl	Anzahl		Bezeichnung	Zweck / Bemerkung
		bez. [t/h]	bez. [m ³ /h]		
1. Anlagentechnik					
101	1			FE-Abscheider	Aushub FE
102	1			Sieb 20mm	Sichtung der Feinteile
103	1			NE-Abscheider	Aushub NE und FE
104	1			Windsichter	Aushub Schwerteile
2. Fördertechnik					
201	1			Förderband	Transport FE-befreite Fraktion
202	1			Förderband	Transport Feinfraktion
203	1			Beschleunigungsband	Zuführung Windsichter
204	1			Verteilband	Verteilung Leichtfraktion
205	1			Förderband	Transport Schwerfraktion
Produkt – Angaben					
Nummer	Hersteller	Modell Bezeichnung	Länge [mm]	Breite [mm]	
1. Anlagentechnik					
101				1.000	
102				1.200	
103				1.200	
104				1.200	
2. Fördertechnik					
201			8.000	1.000	
202			8.000	800	

203				3.000	1.200		
204				7.000	800		
205				7.000	800		
Nummer	Strombedarf		Betriebsdaten				
	[kWh/a] p. Pos.	[kW] p. Stück	Aktive Zeit [h/d]	Betrieb (elektr.)			
				[ja / nein]	[%]		
1. Anlagentechnik							
101	0		13,3	1	80 %		
102	0		13,3	1	80 %		
103	0		13,3	1	80 %		
104	0		13,3	1	80 %		
Gesamt	0						
2. Fördertechnik							
201	8.134	3,5	13,3	1	70 %		
202	8.134	3,5	13,3	1	70 %		
203	5.810	2,5	13,3	1	70 %		
204	11.620	5,0	13,3	1	70 %		
205	11.620	5,0	13,3	1	70 %		
Gesamt	45.318						
Durchsatz							
Nummer	Maximum lt. Hersteller		Jährlich		Stündlich		Schüttgewicht [t/m ³]
	[t/h]	[m ³ /h]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	
1. Anlagentechnik							
101			33.500	239.458	10,1	72,1	0,140
102			33.055	235.808	10,0	71,0	0,140
103			28.902	214.035	8,7	64,5	0,135
104			28.106	208.106	8,5	62,7	0,135
2. Fördertechnik							
201			33.055	235.808	10,0	71,0	0,140
202			4.153	21.773	1,3	6,6	0,191
203			28.106	208.106	8,5	62,7	0,135
204			25.533	200.998	7,7	60,5	0,127
205			2.574	7.109	0,8	2,1	0,362

E. Output Übersicht

Anhang-Tab. 8: Output Übersicht

Gesamtübersicht Output								
Standardvariante								
Output-Fraktion	Kurzbez.	Nr.	Anteil nach Masse	Masse	Volumen	Durchsatz		Schüttgew.
			[M-%]	[t/a]	[m ³ /a]	Masse	Volumen	
						[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Eisenmetalle aus dem Eisenabscheider	FE	Out 1	1,33 %	444,8	3.650,1	0,13	1,10	0,122
Feinfraktion aus dem Sieb	FEIN	Out 2	12,40 %	4.153,5	21.773,2	1,25	6,56	0,191
Nichteisenmetalle aus dem NE-Abscheider	NE	Out 3	1,93 %	645,8	4.302,5	0,19	1,30	0,150
Eisenmetalle aus dem NE-Abscheider	FE, klein	Out 4	0,45 %	149,6	1.625,8	0,05	0,49	0,092
Schwerfraktion aus dem Windsichter	SCHWER	Out 5	7,68 %	2.573,7	7.108,9	0,78	2,14	0,362
Leichtfraktion aus dem Windsichter	LEICHT	Out 6	76,22 %	25.532,6	200.997,6	7,69	60,54	0,127
Summen			100,0 %	33.500,0	239.458,1	10,09	72,13	-

F. Out 1, Out 2, Out 3, Out 4, Out 5, Out 6

Anhang-Tab. 9: Out 1 – Eisenmetalle aus dem Eisenabscheider

Eisenmetalle aus dem Eisenabscheider								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	FE						
		Anteil		Masse	Volumen	Durchsatz		Schütt- gew.
		nach Masse	nach MaTS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	36,30 %	27,23 %	161,49	1.580,4	0,05	0,48	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	12,63 %	10,65 %	56,17	260,4	0,02	0,08	0,216
Kunststofffolien	3	11,55 %	10,97 %	51,38	1.073,6	0,02	0,32	0,048
Kunststoffrohre	4	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	7,82%	7,76 %	34,77	256,1	0,01	0,08	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,232
Bodenbeläge / Teppiche	7	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,147
Textilien	8	3,34 %	2,74 %	14,87	163,1	0,00	0,05	0,091
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,134
Gummi / Altreifen	10	0,91 %	0,90 %	4,07	17,6	0,00	0,01	0,231
Schaumstoff	11	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,040
Styropor	12	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,024
Bau-Schäume	13	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,038
Farbeimer	14	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,204
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	4,71 %	4,68 %	20,97	50,8	0,01	0,02	0,413
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,174
Teerpappe	17	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,319
Biogene Abfälle	18	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,301
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	20,54 %	20,54 %	91,38	201,3	0,03	0,06	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	2,16 %	2,16 %	9,62	46,7	0,00	0,01	0,206

bar)								
Glas	21	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,03 %	0,03 %	0,12	0,3	0,00	0,00	0,398
Problemstoffe / Bat- terien / Medikamente	23	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,845
Gipskartonplatten	25	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,266
Fraktion kleiner 20mm	26	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,191
Sortierrest	27	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,160
Summen		100,00 %	87,70 %	444,83	3.650,1	0,13	1,10	0,122

Anhang-Tab. 10: Out 1 - Stoffdaten & Schadstoffgehalte

Stoffdaten & Schadstoffgehalte			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	16.447
Wassergehalt	WG	[M-%]	12,3%
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	32,5%
Glühverlust	GV	[M-% TS]	54,4%
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	36,0
Arsen	As	[mg/kg TS]	1,4
Blei	Pb	[mg/kg TS]	2.291,0
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	2,1
Chlor	Cl	[mg/kg TS]	5.892,5
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	146,4
Fluor	F	[mg/kg TS]	273,9
Kobalt	Co	[mg/kg TS]	4,3
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	871,1
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	102,7
Nickel	Ni	[mg/kg TS]	48,1
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,3
Schwefel	S	[M-% TS]	0,42%
Selen	Se	[mg/kg TS]	0,1
Tellur	Te	[mg/kg TS]	1,3
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,4

Vanadium	V	[mg/kg TS]	127,1
Zink	Zn	[mg/kg TS]	749,1
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	15,3

Anhang-Tab. 11: Out 2 – Feinfraktion aus dem Sieb

Feinfraktion aus dem Sieb								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	FEIN						
		Anteil		Masse	Volumen	Durchsatz		Schütt- gew.
		nach Masse	nach MaTS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Papier / Pappe / Kar- tonagen	1	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,216
Kunststofffolien	3	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,048
Kunststoffrohre	4	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,232
Bodenbeläge / Tep- piche	7	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,147
Textilien	8	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,091
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,134
Gummi / Altreifen	10	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,231
Schaumstoff	11	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,040
Styropor	12	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,024
Bau-Schäume	13	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,038
Farbeimer	14	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,204
Verbundstoffe (teil- magnetisierbar)	15	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,413
Verbundstoffe (nicht- magnetisierbar)	16	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,174
Teerpappe	17	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,319
Biogene Abfälle	18	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,301

FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,206
Glas	21	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,398
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,845
Gipskartonplatten	25	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,266
Fraktion kleiner 20mm	26	99,33 %	74,50 %	4.125,81	21.600,1	1,24	6,51	0,191
Sortierrest	27	0,67 %	0,63 %	27,67	173,0	0,01	0,05	0,160
Summen		100,0 %	75,1 %	4.153,47	21.773,2	1,25	6,56	0,191

Anhang-Tab. 12: Out 2 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte

Stoffdaten & Schadstoffgehalte			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	7.980
Wassergehalt	WG	[M-%]	24,9%
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	30,4%
Glühverlust	GV	[M-% TS]	45,1%
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	6,3
Arsen	As	[mg/kg TS]	3,0
Blei	Pb	[mg/kg TS]	59,6
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	1,1
Chlor	Cl	[mg/kg TS]	4.352,3
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	43,2
Fluor	F	[mg/kg TS]	262,6
Kobalt	Co	[mg/kg TS]	3,0
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	223,8
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	136,6
Nickel	Ni	[mg/kg TS]	16,4
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,4
Schwefel	S	[M-% TS]	0,63%

Selen	Se	[mg/kg TS]	0,1
Tellur	Te	[mg/kg TS]	1,1
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,6
Vanadium	V	[mg/kg TS]	9,7
Zink	Zn	[mg/kg TS]	338,4
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	4,6

Anhang-Tab. 13: Out 3 – Nichteisenmetalle aus dem NE-Abscheider

Nichteisenmetalle aus dem NE-Abscheider								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	NE						Schütt- gew. [t/m ³]
		Anteil		Masse [t/a]	Volumen [m ³ /a]	Durchsatz		
		nach Masse	nach MaTS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/h]	[m ³ /h]			
Papier / Pappe / Kar- tonagen	1	12,25 %	9,19 %	79,13	774,4	0,02	0,23	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,216
Kunststofffolien	3	5,14 %	4,89 %	33,22	694,2	0,01	0,21	0,048
Kunststoffrohre	4	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	5,33 %	5,29 %	34,42	253,5	0,01	0,08	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,232
Bodenbeläge / Tep- piche	7	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,147
Textilien	8	2,26 %	1,85 %	14,57	159,8	0,00	0,05	0,091
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,134
Gummi / Altreifen	10	0,62 %	0,61 %	4,03	17,4	0,00	0,01	0,231
Schaumstoff	11	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,040
Styropor	12	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,024
Bau-Schäume	13	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,038
Farbeimer	14	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,204
Verbundstoffe (teil- magnetisierbar)	15	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,413
Verbundstoffe (nicht-	16	12,30 %	11,81	79,45	456,4	0,02	0,14	0,174

magnetisierbar)			%					
Teerpappe	17	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,319
Biogene Abfälle	18	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,301
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,05 %	0,05 %	0,32	0,7	0,00	0,00	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	62,02 %	62,02 %	400,51	1.945,7	0,12	0,59	0,206
Glas	21	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,02 %	0,02 %	0,11	0,3	0,00	0,00	0,398
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,845
Gipskartonplatten	25	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,266
Fraktion kleiner 20mm	26	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,191
Sortierrest	27	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,160
Summen		100,0 %	95,7 %	645,77	4.302,5	0,19	1,30	0,150

Anhang-Tab. 14: Out 3 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte

Stoffdaten & Schadstoffgehalte			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	10.728
Wassergehalt	WG	[M-%]	4,3%
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	66,0%
Glühverlust	GV	[M-% TS]	28,9%
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	25,3
Arsen	As	[mg/kg TS]	0,7
Blei	Pb	[mg/kg TS]	6.227,2
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	1,9
Chlor	Cl	[mg/kg TS]	3.521,1
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	540,6
Fluor	F	[mg/kg TS]	272,9
Kobalt	Co	[mg/kg TS]	5,7
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	15.553,4
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	145,7

Nickel	Ni	[mg/kg TS]	145,0
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,2
Schwefel	S	[M-% TS]	0,25%
Selen	Se	[mg/kg TS]	0,0
Tellur	Te	[mg/kg TS]	0,7
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,5
Vanadium	V	[mg/kg TS]	32,7
Zink	Zn	[mg/kg TS]	2.085,2
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	94,7

Anhang-Tab. 15: Out 4 – Eisenmetalle aus dem NE-Abscheider

Eisenmetalle aus dem NE-Abscheider								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	FE, klein						
		Anteil		Masse	Volumen	Durchsatz		Schütt- gew.
		nach Masse	nach MaTS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Papier / Pappe / Kar- tonagen	1	52,89 %	39,67 %	79,13	774,4	0,02	0,23	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,216
Kunststofffolien	3	22,21 %	21,10 %	33,22	694,2	0,01	0,21	0,048
Kunststoffrohre	4	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,232
Bodenbeläge / Tep- piche	7	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,147
Textilien	8	4,87 %	3,99 %	7,29	79,9	0,00	0,02	0,091
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,134
Gummi / Altreifen	10	2,69 %	2,64 %	4,03	17,4	0,00	0,01	0,231
Schaumstoff	11	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,040
Styropor	12	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,024
Bau-Schäume	13	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,038

Farbeimer	14	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,204
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	8,18 %	8,12 %	12,23	29,6	0,00	0,01	0,413
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,174
Teerpappe	17	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,319
Biogene Abfälle	18	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,301
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	9,16 %	9,16 %	13,71	30,2	0,00	0,01	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,206
Glas	21	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,398
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,845
Gipskartonplatten	25	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,266
Fraktion kleiner 20mm	26	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,191
Sortierrest	27	0,00 %	0,00 %	0,00	0,0	0,00	0,00	0,160
Summen		100,0 %	84,7 %	149,61	1.625,8	0,05	0,49	0,092

Anhang-Tab. 16: Out 4 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte

Stoffdaten & Schadstoffgehalte			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	20.321
Wassergehalt	WG	[M-%]	15,3%
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	23,1%
Glühverlust	GV	[M-% TS]	61,5%
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	34,9
Arsen	As	[mg/kg TS]	1,6
Blei	Pb	[mg/kg TS]	936,2
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	1,7
Chlor	Cl	[mg/kg TS]	5.345,6
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	77,8
Fluor	F	[mg/kg TS]	215,6

Kobalt	Co	[mg/kg TS]	2,7
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	204,1
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	82,0
Nickel	Ni	[mg/kg TS]	55,3
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,4
Schwefel	S	[M-% TS]	0,61%
Selen	Se	[mg/kg TS]	0,1
Tellur	Te	[mg/kg TS]	1,5
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,4
Vanadium	V	[mg/kg TS]	58,5
Zink	Zn	[mg/kg TS]	750,4
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	6,6

Anhang-Tab. 17: Out 5 – Schwerfraktion aus dem Windsichter

Schwerfraktion aus dem Windsichter								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	SCHWER						
		Anteil		Masse	Volumen	Durchsatz		Schütt- gew.
		nach Masse	nach MaTS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Papier / Pappe / Kar- tonagen	1	6,03 %	4,52 %	155,10	1.517,8	0,05	0,46	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	4,32 %	3,64 %	111,23	515,5	0,03	0,16	0,216
Kunststofffolien	3	1,24 %	1,18 %	31,90	666,5	0,01	0,20	0,048
Kunststoffrohre	4	0,09 %	0,09 %	2,24	8,9	0,00	0,00	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	2,65 %	2,63 %	68,15	502,0	0,02	0,15	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	0,33 %	0,32 %	8,48	36,6	0,00	0,01	0,232
Bodenbeläge / Tep- piche	7	0,28 %	0,26 %	7,19	48,8	0,00	0,01	0,147
Textilien	8	0,55 %	0,45 %	14,14	155,0	0,00	0,05	0,091
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,06 %	0,06 %	1,60	11,9	0,00	0,00	0,134
Gummi / Altreifen	10	0,31 %	0,30 %	7,89	34,2	0,00	0,01	0,231

Schaumstoff	11	0,06 %	0,06 %	1,63	40,4	0,00	0,01	0,040
Styropor	12	0,16 %	0,15 %	4,04	167,1	0,00	0,05	0,024
Bau-Schäume	13	0,08 %	0,08 %	2,08	54,9	0,00	0,02	0,038
Farbeimer	14	0,00 %	0,00 %	0,09	0,4	0,00	0,00	0,204
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	0,03 %	0,03 %	0,73	1,8	0,00	0,00	0,413
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,14 %	0,14 %	3,71	21,3	0,00	0,01	0,174
Teerpappe	17	0,46 %	0,45 %	11,77	36,9	0,00	0,01	0,319
Biogene Abfälle	18	0,70 %	0,35 %	17,99	59,8	0,01	0,02	0,301
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,04 %	0,04 %	1,05	2,3	0,00	0,00	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	1,37 %	1,37 %	35,34	171,7	0,01	0,05	0,206
Glas	21	15,68 %	14,89 %	403,48	482,1	0,12	0,15	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,04 %	0,04 %	1,13	2,8	0,00	0,00	0,398
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,04 %	0,04 %	0,91	6,4	0,00	0,00	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	58,84 %	54,13 %	1.514,29	1.792,0	0,46	0,54	0,845
Gipskartonplatten	25	3,49 %	3,38 %	89,75	337,5	0,03	0,10	0,266
Fraktion kleiner 20mm	26	2,00 %	1,50 %	51,57	270,0	0,02	0,08	0,191
Sortierrest	27	1,02 %	0,96 %	26,28	164,4	0,01	0,05	0,160
Summen		100,0 %	91,1 %	2.573,75	7.108,9	0,78	2,14	0,362

Anhang-Tab. 18: Out 5 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte

Stoffdaten & Schadstoffgehalte			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	3.895
Wassergehalt	WG	[M-%]	8,9%
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	73,7%
Glühverlust	GV	[M-% TS]	17,4%
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	10,4
Arsen	As	[mg/kg TS]	4,9
Blei	Pb	[mg/kg TS]	185,6
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	0,6

Chlor	Cl	[mg/kg TS]	1.812,6
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	52,3
Fluor	F	[mg/kg TS]	84,6
Kobalt	Co	[mg/kg TS]	5,0
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	442,3
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	53,5
Nickel	Ni	[mg/kg TS]	20,6
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,3
Schwefel	S	[M-% TS]	0,27%
Selen	Se	[mg/kg TS]	0,7
Tellur	Te	[mg/kg TS]	0,3
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,1
Vanadium	V	[mg/kg TS]	2,1
Zink	Zn	[mg/kg TS]	212,1
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	3,0

Anhang-Tab. 19: Out 6 – Leichtfraktion aus dem Windsichter

Leichtfraktion aus dem Windsichter								
Standardvariante								
Stoffgruppe	Nr.	LEICHT						
		Anteil		Masse	Volumen	Durchsatz		Schütt-gew.
		nach Masse	nach MaTS			Masse	Volumen	
		[M-%]	[M-% TS]	[t/a]	[m ³ /a]	[t/h]	[m ³ /h]	[t/m ³]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	29,76 %	22,32 %	7.599,66	74.371,4	2,29	22,40	0,102
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	21,35 %	17,99 %	5.450,04	25.260,0	1,64	7,61	0,216
Kunststofffolien	3	6,12 %	5,82 %	1.562,88	32.657,4	0,47	9,84	0,048
Kunststoffrohre	4	0,43 %	0,43 %	109,64	435,8	0,03	0,13	0,252
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	13,08 %	12,99 %	3.339,38	24.595,7	1,01	7,41	0,136
PVC-Bodenbeläge	6	1,63 %	1,60 %	415,71	1.792,4	0,13	0,54	0,232
Bodenbeläge / Teppiche	7	1,38 %	1,27 %	352,28	2.388,8	0,11	0,72	0,147
Textilien	8	2,71 %	2,22 %	692,62	7.595,8	0,21	2,29	0,091

Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,31 %	0,28 %	78,31	582,8	0,02	0,18	0,134
Gummi / Altreifen	10	1,51 %	1,49 %	386,60	1.675,8	0,12	0,50	0,231
Schaumstoff	11	0,31 %	0,28 %	79,98	1.979,3	0,02	0,60	0,040
Styropor	12	0,77 %	0,76 %	197,75	8.190,0	0,06	2,47	0,024
Bau-Schäume	13	0,40 %	0,39 %	101,85	2.688,0	0,03	0,81	0,038
Farbeimer	14	0,02 %	0,02 %	4,29	21,0	0,00	0,01	0,204
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	0,14 %	0,14 %	35,97	87,1	0,01	0,03	0,413
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,71 %	0,68 %	181,67	1.043,7	0,05	0,31	0,174
Teerpappe	17	2,26 %	2,24 %	576,80	1.806,0	0,17	0,54	0,319
Biogene Abfälle	18	3,45 %	1,73 %	881,48	2.929,5	0,27	0,88	0,301
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,00 %	0,00 %	1,05	2,3	0,00	0,00	0,454
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	0,14 %	0,14 %	35,34	171,7	0,01	0,05	0,206
Glas	21	1,58 %	1,50 %	403,48	482,1	0,12	0,15	0,837
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,04 %	0,04 %	10,16	25,5	0,00	0,01	0,398
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,01 %	0,01 %	3,64	25,7	0,00	0,01	0,142
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	5,93 %	5,46 %	1.514,29	1.792,0	0,46	0,54	0,845
Gipskartonplatten	25	0,15 %	0,15 %	38,46	144,6	0,01	0,04	0,266
Fraktion kleiner 20mm	26	3,84 %	2,88 %	979,88	5.130,0	0,30	1,55	0,191
Sortierrest	27	1,96 %	1,84 %	499,36	3.123,3	0,15	0,94	0,160
Summen		100,0 %	84,7 %	25.532,58	200.997,6	7,69	60,54	0,127

Anhang-Tab. 20: Out 6 – Stoffdaten & Schadstoffgehalte

Stoffdaten & Schadstoffgehalte			
Heizwert	Hu	[kJ/kg]	17.958
Wassergehalt	WG	[M-%]	15,3%
Aschegehalt	MS	[M-% TS]	19,9%
Glühverlust	GV	[M-% TS]	63,6%
Antimon	Sb	[mg/kg TS]	35,7

Arsen	As	[mg/kg TS]	2,2
Blei	Pb	[mg/kg TS]	62,7
Cadmium	Cd	[mg/kg TS]	2,1
Chlor	Cl	[mg/kg TS]	8.024,8
Chrom	Cr	[mg/kg TS]	42,4
Fluor	F	[mg/kg TS]	391,7
Kobalt	Co	[mg/kg TS]	3,7
Kupfer	Cu	[mg/kg TS]	271,9
Mangan	Mn	[mg/kg TS]	83,1
Nickel	Ni	[mg/kg TS]	21,4
Quecksilber	Hg	[mg/kg TS]	0,4
Schwefel	S	[M-% TS]	0,48%
Selen	Se	[mg/kg TS]	0,1
Tellur	Te	[mg/kg TS]	1,5
Thallium	Tl	[mg/kg TS]	0,4
Vanadium	V	[mg/kg TS]	4,6
Zink	Zn	[mg/kg TS]	596,8
Zinn	Sn	[mg/kg TS]	3,6

G. Verfahrensschritte 101, 102, 103, 104

Anhang-Tab. 21: Verfahrensschritt 101 (FE-Abscheider)

101 FE-Abscheider						
Standardvariante						
Stoffgruppe	Nr.	Input (diese Position)			Abscheidegrad	
		von bestehender Anlage			FE	Rest
		Masse	Volumen			
		[t/a]	[m ³ /a]	[t/m ³]	[M-%]	
Papier / Pappe / Kartonagen	1	8.074,51	79.018,28	0,102	2 %	98 %
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.617,44	26.035,85	0,216	1 %	99 %
Kunststofffolien	3	1.712,60	35.785,91	0,048	3 %	97 %
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,252	0 %	100 %
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.476,71	25.607,28	0,136	1 %	99 %
PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,232	0 %	100 %
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,147	0 %	100 %
Textilien	8	743,49	8.153,61	0,091	2 %	98 %
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,134	0 %	100 %
Gummi / Altreifen	10	406,61	1.762,51	0,231	1 %	99 %
Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,040	0 %	100 %
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,024	0 %	100 %
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,038	0 %	100 %
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,204	0 %	100 %
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	69,91	169,29	0,413	30 %	70 %
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	264,82	1.521,44	0,174	0 %	100 %
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,319	0 %	100 %
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,301	0 %	100 %
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	107,50	236,79	0,454	85 %	15 %
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	480,81	2.335,73	0,206	2 %	98 %
Glas	21	806,97	964,29	0,837	0 %	100 %
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,52	28,93	0,398	1 %	99 %
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,142	0 %	100 %

Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,845	0 %	100 %
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,266	0 %	100 %
Fraktion kleiner 20mm	26	5.157,26	27.000,14	0,191	0 %	100 %
Sortierrest	27	553,31	3.460,73	0,160	0 %	100 %
Summen		33.500	239.458	0,140	1,3 %	98,7 %

Anhang-Tab. 22: Verfahrensschritt 101 – Output nach Box FE

Output (diese Position)					
nach Box					
FE					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	161,49	1.580,37	0,05	0,48
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	56,17	260,36	0,02	0,08
Kunststofffolien	3	51,38	1.073,58	0,02	0,32
Kunststoffrohre	4	0,00	0,00	0,00	0,00
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	34,77	256,07	0,01	0,08
PVC-Bodenbeläge	6	0,00	0,00	0,00	0,00
Bodenbeläge / Teppiche	7	0,00	0,00	0,00	0,00
Textilien	8	14,87	163,07	0,00	0,05
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00	0,00	0,00	0,00
Gummi / Altreifen	10	4,07	17,63	0,00	0,01
Schaumstoff	11	0,00	0,00	0,00	0,00
Styropor	12	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau-Schäume	13	0,00	0,00	0,00	0,00
Farbeimer	14	0,00	0,00	0,00	0,00
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	20,97	50,79	0,01	0,02
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,00	0,00	0,00	0,00
Teerpappe	17	0,00	0,00	0,00	0,00
Biogene Abfälle	18	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	91,38	201,27	0,03	0,06
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	9,62	46,71	0,00	0,01
Glas	21	0,00	0,00	0,00	0,00

Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,12	0,29	0,00	0,00
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00	0,00	0,00	0,00
Gipskartonplatten	25	0,00	0,00	0,00	0,00
Fraktion kleiner 20mm	26	0,00	0,00	0,00	0,00
Sortierrest	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Summen		445	3.650	0,13	1,10

Anhang-Tab. 23: Verfahrensschritt 101 – Output nach 201 Rest

Output (diese Position)					
nach 201					
Rest					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.913,02	77.437,91	2,38	23,32
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.561,27	25.775,49	1,68	7,76
Kunststofffolien	3	1.661,22	34.712,33	0,50	10,46
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,03	0,13
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.441,95	25.351,21	1,04	7,64
PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,13	0,55
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,11	0,73
Textilien	8	728,62	7.990,54	0,22	2,41
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,02	0,18
Gummi / Altreifen	10	402,54	1.744,88	0,12	0,53
Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,02	0,61
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,06	2,52
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,03	0,83
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,00	0,01
Verbundstoffe (teil- magnetisierbar)	15	48,94	118,50	0,01	0,04
Verbundstoffe (nicht- magnetisierbar)	16	264,82	1.521,44	0,08	0,46
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,18	0,56
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,27	0,90
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	16,13	35,52	0,00	0,01

NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	471,19	2.289,01	0,14	0,69
Glas	21	806,97	964,29	0,24	0,29
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,40	28,64	0,00	0,01
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,00	0,01
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,91	1,08
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,04	0,15
Fraktion kleiner 20mm	26	5.157,26	27.000,14	1,55	8,13
Sortierrest	27	553,31	3.460,73	0,17	1,04
Summen		33.055	235.808	9,96	71,03

Anhang-Tab. 24: Verfahrensschritt 102 (Sieb 20 mm)

102 Sieb 20 mm						
Standardvariante						
Stoffgruppe	Nr.	Input (diese Position)			Abscheidegrad	
		von 201			< 20	> 20
		Masse	Volumen			
		[t/a]	[m ³ /a]	[t/m ³]	[M-%]	
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.913,02	77.437,91	0,102	0 %	100 %
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.561,27	25.775,49	0,216	0 %	100 %
Kunststofffolien	3	1.661,22	34.712,33	0,048	0 %	100 %
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,252	0 %	100 %
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.441,95	25.351,21	0,136	0 %	100 %
PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,232	0 %	100 %
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,147	0 %	100 %
Textilien	8	728,62	7.990,54	0,091	0 %	100 %
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,134	0 %	100 %
Gummi / Altreifen	10	402,54	1.744,88	0,231	0 %	100 %
Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,040	0 %	100 %
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,024	0 %	100 %
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,038	0 %	100 %
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,204	0 %	100 %
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	48,94	118,50	0,413	0 %	100 %

Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	264,82	1.521,44	0,174	0 %	100 %
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,319	0 %	100 %
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,301	0 %	100 %
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	16,13	35,52	0,454	0 %	100 %
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	471,19	2.289,01	0,206	0 %	100 %
Glas	21	806,97	964,29	0,837	0 %	100 %
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,40	28,64	0,398	0 %	100 %
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,142	0 %	100 %
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,845	0 %	100 %
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,266	0 %	100 %
Fraktion kleiner 20mm	26	5.157,26	27.000,14	0,191	80 %	20 %
Sortierrest	27	553,31	3.460,73	0,160	5 %	95 %
Summen		33.055	235.808	0,140	12,6 %	87,4 %

Anhang-Tab. 25: Verfahrensschritt 102 – Output nach 202 < 20

Output (diese Position)					
nach 202					
< 20					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	0,00	0,00	0,00	0,00
Kunststofffolien	3	0,00	0,00	0,00	0,00
Kunststoffrohre	4	0,00	0,00	0,00	0,00
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	0,00	0,00	0,00	0,00
PVC-Bodenbeläge	6	0,00	0,00	0,00	0,00
Bodenbeläge / Teppiche	7	0,00	0,00	0,00	0,00
Textilien	8	0,00	0,00	0,00	0,00
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00	0,00	0,00	0,00
Gummi / Altreifen	10	0,00	0,00	0,00	0,00
Schaumstoff	11	0,00	0,00	0,00	0,00
Styropor	12	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau-Schäume	13	0,00	0,00	0,00	0,00

Farbeimer	14	0,00	0,00	0,00	0,00
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	0,00	0,00	0,00	0,00
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,00	0,00	0,00	0,00
Teerpappe	17	0,00	0,00	0,00	0,00
Biogene Abfälle	18	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,00	0,00	0,00	0,00
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	0,00	0,00	0,00	0,00
Glas	21	0,00	0,00	0,00	0,00
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,00	0,00	0,00	0,00
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00	0,00	0,00	0,00
Gipskartonplatten	25	0,00	0,00	0,00	0,00
Fraktion kleiner 20mm	26	4.125,81	21.600,12	1,24	6,51
Sortierrest	27	27,67	173,04	0,01	0,05
Summen		4.153	21.773	1,25	6,56

Anhang-Tab. 26: Verfahrensschritt 102 – Output nach 103 > 20

Output (diese Position)					
nach 103					
> 20					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.913,02	77.437,91	2,38	23,32
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.561,27	25.775,49	1,68	7,76
Kunststofffolien	3	1.661,22	34.712,33	0,50	10,46
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,03	0,13
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.441,95	25.351,21	1,04	7,64
PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,13	0,55
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,11	0,73
Textilien	8	728,62	7.990,54	0,22	2,41
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,02	0,18
Gummi / Altreifen	10	402,54	1.744,88	0,12	0,53

Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,02	0,61
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,06	2,52
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,03	0,83
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,00	0,01
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	48,94	118,50	0,01	0,04
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	264,82	1.521,44	0,08	0,46
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,18	0,56
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,27	0,90
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	16,13	35,52	0,00	0,01
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	471,19	2.289,01	0,14	0,69
Glas	21	806,97	964,29	0,24	0,29
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,40	28,64	0,00	0,01
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,00	0,01
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,91	1,08
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,04	0,15
Fraktion kleiner 20mm	26	1.031,45	5.400,03	0,31	1,63
Sortierrest	27	525,64	3.287,70	0,16	0,99
Summen		28.902	214.035	8,71	64,47

Anhang-Tab. 27: Verfahrensschritt 103 (NE-Abscheider)

103 NE-Abscheider							
Standardvariante							
Stoffgruppe	Nr.	Input (diese Position)			Abscheidegrad		
		von 102			NE	FE	Rest
		Masse	Volumen				
		[t/a]	[m³/a]	[t/m³]	[M-%]		
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.913,02	77.437,91	0,102	1 %	1 %	98 %
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.561,27	25.775,49	0,216	0 %	0 %	100 %
Kunststofffolien	3	1.661,22	34.712,33	0,048	2 %	2 %	96 %
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,252	0 %	0 %	100 %
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.441,95	25.351,21	0,136	1 %	0 %	99 %

PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,232	0 %	0 %	100 %
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,147	0 %	0 %	100 %
Textilien	8	728,62	7.990,54	0,091	2 %	1 %	97 %
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,134	0 %	0 %	100 %
Gummi / Altreifen	10	402,54	1.744,88	0,231	1 %	1 %	98 %
Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,040	0 %	0 %	100 %
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,024	0 %	0 %	100 %
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,038	0 %	0 %	100 %
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,204	0 %	0 %	100 %
Verbundstoffe (teil- magnetisierbar)	15	48,94	118,50	0,413	0 %	25 %	75 %
Verbundstoffe (nicht- magnetisierbar)	16	264,82	1.521,44	0,174	30 %	0 %	70 %
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,319	0 %	0 %	100 %
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,301	0 %	0 %	100 %
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	16,13	35,52	0,454	2 %	85 %	13 %
NE-Metalle / V2A (nicht mag- netisierbar)	20	471,19	2.289,01	0,206	85 %	0 %	15 %
Glas	21	806,97	964,29	0,837	0 %	0 %	100 %
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,40	28,64	0,398	1 %	0 %	99 %
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,142	0 %	0 %	100 %
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,845	0 %	0 %	100 %
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,266	0 %	0 %	100 %
Fraktion kleiner 20mm	26	1.031,45	5.400,03	0,191	0 %	0 %	100 %
Sortierrest	27	525,64	3.287,70	0,160	0 %	0 %	100 %
Summen		28.902	214.035	0,135	2,2 %	0,5 %	97,2 %

Anhang-Tab. 28: Verfahrensschritt 103 – Output nach Container NE

Output (diese Position)					
nach Container					
NE					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	79,13	774,38	0,02	0,23
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	0,00	0,00	0,00	0,00

Kunststofffolien	3	33,22	694,25	0,01	0,21
Kunststoffrohre	4	0,00	0,00	0,00	0,00
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	34,42	253,51	0,01	0,08
PVC-Bodenbeläge	6	0,00	0,00	0,00	0,00
Bodenbeläge / Teppiche	7	0,00	0,00	0,00	0,00
Textilien	8	14,57	159,81	0,00	0,05
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00	0,00	0,00	0,00
Gummi / Altreifen	10	4,03	17,45	0,00	0,01
Schaumstoff	11	0,00	0,00	0,00	0,00
Styropor	12	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau-Schäume	13	0,00	0,00	0,00	0,00
Farbeimer	14	0,00	0,00	0,00	0,00
Verbundstoffe (teil- magnetisierbar)	15	0,00	0,00	0,00	0,00
Verbundstoffe (nicht- magnetisierbar)	16	79,45	456,43	0,02	0,14
Teerpappe	17	0,00	0,00	0,00	0,00
Biogene Abfälle	18	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	0,32	0,71	0,00	0,00
NE-Metalle / V2A (nicht mag- netisierbar)	20	400,51	1.945,66	0,12	0,59
Glas	21	0,00	0,00	0,00	0,00
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,11	0,29	0,00	0,00
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00	0,00	0,00	0,00
Gipskartonplatten	25	0,00	0,00	0,00	0,00
Fraktion kleiner 20mm	26	0,00	0,00	0,00	0,00
Sortierrest	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Summen		646	4.302	0,19	1,30

Anhang-Tab. 29: Verfahrensschritt 103 – Output nach Container FE

Output (diese Position) nach Container					
FE					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	79,13	774,38	0,02	0,23
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	0,00	0,00	0,00	0,00
Kunststofffolien	3	33,22	694,25	0,01	0,21
Kunststoffrohre	4	0,00	0,00	0,00	0,00
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	0,00	0,00	0,00	0,00
PVC-Bodenbeläge	6	0,00	0,00	0,00	0,00
Bodenbeläge / Teppiche	7	0,00	0,00	0,00	0,00
Textilien	8	7,29	79,91	0,00	0,02
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	0,00	0,00	0,00	0,00
Gummi / Altreifen	10	4,03	17,45	0,00	0,01
Schaumstoff	11	0,00	0,00	0,00	0,00
Styropor	12	0,00	0,00	0,00	0,00
Bau-Schäume	13	0,00	0,00	0,00	0,00
Farbeimer	14	0,00	0,00	0,00	0,00
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	12,23	29,63	0,00	0,01
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	0,00	0,00	0,00	0,00
Teerpappe	17	0,00	0,00	0,00	0,00
Biogene Abfälle	18	0,00	0,00	0,00	0,00
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	13,71	30,19	0,00	0,01
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	0,00	0,00	0,00	0,00
Glas	21	0,00	0,00	0,00	0,00
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	0,00	0,00	0,00	0,00
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,00	0,00	0,00	0,00
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	0,00	0,00	0,00	0,00
Gipskartonplatten	25	0,00	0,00	0,00	0,00
Fraktion kleiner 20mm	26	0,00	0,00	0,00	0,00
Sortierrest	27	0,00	0,00	0,00	0,00
Summen		150	1.626	0,05	0,49

Anhang-Tab. 30: Verfahrensschritt 103 – Output nach 203 Rest

Output (diese Position) nach 203					
Rest					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.754,76	75.889,15	2,34	22,86
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.561,27	25.775,49	1,68	7,76
Kunststofffolien	3	1.594,77	33.323,83	0,48	10,04
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,03	0,13
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.407,53	25.097,69	1,03	7,56
PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,13	0,55
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,11	0,73
Textilien	8	706,76	7.750,83	0,21	2,33
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,02	0,18
Gummi / Altreifen	10	394,49	1.709,99	0,12	0,52
Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,02	0,61
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,06	2,52
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,03	0,83
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,00	0,01
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	36,70	88,88	0,01	0,03
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	185,38	1.065,01	0,06	0,32
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,18	0,56
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,27	0,90
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	2,10	4,62	0,00	0,00
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	70,68	343,35	0,02	0,10
Glas	21	806,97	964,29	0,24	0,29
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,29	28,35	0,00	0,01
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,00	0,01
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,91	1,08
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,04	0,15
Fraktion kleiner 20mm	26	1.031,45	5.400,03	0,31	1,63
Sortierrest	27	525,64	3.287,70	0,16	0,99
Summen		28.106	208.106	8,47	62,68

Anhang-Tab. 31: Verfahrensschritt 104 (Windsichter)

104 Windsichter						
Standardvariante						
Stoffgruppe	Nr.	Input (diese Position)			Abscheidegrad	
		von 203			LF	SF
		Masse	Volumen			
		[t/a]	[m ³ /a]	[t/m ³]	[M-%]	
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.754,76	75.889,15	0,102	98 %	2 %
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.561,27	25.775,49	0,216	98 %	2 %
Kunststofffolien	3	1.594,77	33.323,83	0,048	98 %	2 %
Kunststoffrohre	4	111,88	444,65	0,252	98 %	2 %
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.407,53	25.097,69	0,136	98 %	2 %
PVC-Bodenbeläge	6	424,20	1.828,94	0,232	98 %	2 %
Bodenbeläge / Teppiche	7	359,47	2.437,51	0,147	98 %	2 %
Textilien	8	706,76	7.750,83	0,091	98 %	2 %
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	79,91	594,65	0,134	98 %	2 %
Gummi / Altreifen	10	394,49	1.709,99	0,231	98 %	2 %
Schaumstoff	11	81,61	2.019,65	0,040	98 %	2 %
Styropor	12	201,79	8.357,19	0,024	98 %	2 %
Bau-Schäume	13	103,93	2.742,87	0,038	98 %	2 %
Farbeimer	14	4,38	21,43	0,204	98 %	2 %
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	36,70	88,88	0,413	98 %	2 %
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	185,38	1.065,01	0,174	98 %	2 %
Teerpappe	17	588,57	1.842,87	0,319	98 %	2 %
Biogene Abfälle	18	899,47	2.989,30	0,301	98 %	2 %
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	2,10	4,62	0,454	50 %	50 %
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	70,68	343,35	0,206	50 %	50 %
Glas	21	806,97	964,29	0,837	50 %	50 %
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	11,29	28,35	0,398	90 %	10 %
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	4,55	32,14	0,142	80 %	20 %
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	3.028,59	3.583,95	0,845	50 %	50 %
Gipskartonplatten	25	128,21	482,15	0,266	30 %	70 %

Fraktion kleiner 20mm	26	1.031,45	5.400,03	0,191	95 %	5 %
Sortierrest	27	525,64	3.287,70	0,160	95 %	5 %
Summen		28.106	208.106	0,135	90,8 %	9,2 %

Anhang-Tab. 32: Verfahrensschritt 104 – Output nach 204 LF

Output (diese Position)					
nach 204					
LF					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	7.599,66	74.371,37	2,29	22,40
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	5.450,04	25.259,98	1,64	7,61
Kunststofffolien	3	1.562,88	32.657,36	0,47	9,84
Kunststoffrohre	4	109,64	435,75	0,03	0,13
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	3.339,38	24.595,74	1,01	7,41
PVC-Bodenbeläge	6	415,71	1.792,36	0,13	0,54
Bodenbeläge / Teppiche	7	352,28	2.388,76	0,11	0,72
Textilien	8	692,62	7.595,81	0,21	2,29
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	78,31	582,75	0,02	0,18
Gummi / Altreifen	10	386,60	1.675,79	0,12	0,50
Schaumstoff	11	79,98	1.979,26	0,02	0,60
Styropor	12	197,75	8.190,04	0,06	2,47
Bau-Schäume	13	101,85	2.688,01	0,03	0,81
Farbeimer	14	4,29	21,00	0,00	0,01
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	35,97	87,10	0,01	0,03
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	181,67	1.043,71	0,05	0,31
Teerpappe	17	576,80	1.806,01	0,17	0,54
Biogene Abfälle	18	881,48	2.929,52	0,27	0,88
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	1,05	2,31	0,00	0,00
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	35,34	171,68	0,01	0,05
Glas	21	403,48	482,15	0,12	0,15
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	10,16	25,52	0,00	0,01
Problemstoffe / Batterien /	23	3,64	25,71	0,00	0,01

Medikamente					
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	1.514,29	1.791,97	0,46	0,54
Gipskartonplatten	25	38,46	144,64	0,01	0,04
Fraktion kleiner 20mm	26	979,88	5.130,03	0,30	1,55
Sortierrest	27	499,36	3.123,31	0,15	0,94
Summen		25.533	200.998	7,69	60,54

Anhang-Tab. 33: Verfahrensschritt 104 – Output nach 205 SF

Output (diese Position)					
nach 205					
SF					
Stoffgruppe	Nr.	[t/a]	[m³/a]	[t/h]	[m³/h]
Papier / Pappe / Kartonagen	1	155,10	1.517,78	0,05	0,46
Holz / Spanplatten / sonst. Holzanteile	2	111,23	515,51	0,03	0,16
Kunststofffolien	3	31,90	666,48	0,01	0,20
Kunststoffrohre	4	2,24	8,89	0,00	0,00
Hartkunststoffe / Kabelhüllen	5	68,15	501,95	0,02	0,15
PVC-Bodenbeläge	6	8,48	36,58	0,00	0,01
Bodenbeläge / Teppiche	7	7,19	48,75	0,00	0,01
Textilien	8	14,14	155,02	0,00	0,05
Leder / Kunstleder / Schuhe	9	1,60	11,89	0,00	0,00
Gummi / Altreifen	10	7,89	34,20	0,00	0,01
Schaumstoff	11	1,63	40,39	0,00	0,01
Styropor	12	4,04	167,14	0,00	0,05
Bau-Schäume	13	2,08	54,86	0,00	0,02
Farbeimer	14	0,09	0,43	0,00	0,00
Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)	15	0,73	1,78	0,00	0,00
Verbundstoffe (nicht-magnetisierbar)	16	3,71	21,30	0,00	0,01
Teerpappe	17	11,77	36,86	0,00	0,01
Biogene Abfälle	18	17,99	59,79	0,01	0,02
FE-Metalle (magnetisierbar)	19	1,05	2,31	0,00	0,00
NE-Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	20	35,34	171,68	0,01	0,05

Glas	21	403,48	482,15	0,12	0,15
Elektronikschrott / Leiterplatten	22	1,13	2,84	0,00	0,00
Problemstoffe / Batterien / Medikamente	23	0,91	6,43	0,00	0,00
Inertstoffe / Steine / Bauschutt	24	1.514,29	1.791,97	0,46	0,54
Gipskartonplatten	25	89,75	337,50	0,03	0,10
Fraktion kleiner 20mm	26	51,57	270,00	0,02	0,08
Sortierrest	27	26,28	164,38	0,01	0,05
Summen		2.574	7.109	0,78	2,14

III. ERSATZBRENNSTOFFQUALITÄTEN

A. Zementdrehrohrofen Hauptbrenner

Anhang-Tab. 34: ASB-Produktspezifikation

ASB-Produktspezifikation		
Parameter		
Korngröße	< 30 mm (Folien), < 10 mm (sonstige)	
Hu	> 20 MJ/kg	
Feuchte	< 25 %	
S	< 0,5 %	
Cl	< 1 %	
	80-Perzentil Grenzwert [mg/kg TS]	Deckelung Grenzwert [mg/kg TS]
AS	10	15
Sb	20	30
Pb	150	500
Cd	15	25
Cr	150	300
Co	15	20
Cu	300	500
Ni	100	200
Hg	0,6	1
Tl	1,5	3
V	30	70
Sn	30	70
Mn	200	--

B. Wirbelschicht

Anhang-Tab. 35: Spezifikation Abfall-Brennstoffe RVL

Technische Spezifikation für „Siebreste Schüttgut fein aus MA“		S 2.2 MA SDAG
	Technische Spezifikation und Einschränkungen	
Abfallbezeichnung gemäß Abfallkatalog ÖNORM S 2100	Behördlich bewilligte Abfall-Schlüsselnummern für Einsatzstoffe, zutreffende Schlüsselnummer ist anzugeben	
Entstehung und Herkunft der Abfall-Brennstoffe	„Siebreste“ sind thermisch verwertbare Stoffe aus der mechanischen Abfallaufbereitung, z.B.: Schlüssel-Nr. 91103	
Sammlung und Vorbehandlung der Abfälle	Die Art der Sammlung und Vorbehandlung (z.B. Sortierung, mechanische Aufbereitung) ist nachvollziehbar anzugeben. Die Vermischung unterschiedlicher Abfälle zur Erreichung bestimmter Grenzwerte ist nachvollziehbar zu deklarieren. Verboten ist das Beimischen von Abfällen, welche chemische oder thermische Nachreaktionen verursachen. Die Anlieferung gefährlicher Abfälle (siehe gesetzliche Bestimmungen) oder deren Zumischung ist verboten.	
Physikalische Eigenschaften Probennahme und Analyse gemäß ÖNORM	<p><u>Aggregatzustand:</u> stückig, staubfrei, tropffrei, keine geschlossenen Behältnisse.</p> <p>Leicht entzündliche, giftige sowie übelriechende bzw. ekelerregende oder infektiöse Anhaftungen bzw. Verunreinigungen sind unzulässig.</p> <p><u>max. Stückgröße:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - flächige Form (Stärke wie z.B. Folien od. ähnlich) Länge/Breite: max 70/70mm bis max. 5 % Überkorn mit einer max. Länge von 200 mm, gültig bis Ende KJ 2006 und ab 01.01.2007 gelten max. 3 % Überkorn. - Dreidimensionale Form, voll: 30/30/30 mm (Harteile, Eisen und NE) <p><u>Feinanteil:</u> es darf beim Entleervorgang weitestgehend zu keiner Staubentwicklung kommen.</p> <p><u>Heizwert (Hu)</u> ≤ 14 MJ / kg feucht</p> <p><u>Trockengehalt</u> ≥ 75 Gew. %</p> <p><u>Aschegehalt</u> ≤ 20 Gew. % auf TS</p>	
Fremdstoffe Probennahme und Analyse gemäß	<p>Metallteile sind durch FE und NE Abscheider und/oder andere geeignete Vorbehandlungen abzuscheiden</p> <p>Ferrometalle, Nichteisenmetalle ≤ 0,5 Gew. % feucht</p>	

<p>ÖNORM</p>	<p>max. Stückgröße div. Metalle, hohl oder voll < 30/30/30 mm Andere Fremdstoffe (zB.: mineralische Fremdstoffe wie Glas, Stein etc.): 5/5/5 mm bis < 30/30/30 mm ≤ 0,5 Gew % feucht und < 5/5/5 MM ≤ 1,0 Gew. %</p> <p>Einzelstoffe oder Gemische, die noch nicht ausreagiert oder in Verbindung mit anderen Stoffen Reaktionen verursachen, dürfen nicht beige-mischt werden. Die Anlieferung von Fasern mit einem Entzündungspunkt über 800°C ist nicht zulässig (z. B.: Carbonfaser, Multifilamentfaser).</p> <p>Es ist mit geeigneten Maßnahmen sicherzustellen, dass kein radioaktives Material enthalten ist.</p>																																				
<p>Chemische Eigenschaften (Grenzwerte bezogen auf repräsentative Sammelproben = Tagesmittelproben über jeweils 4 Wochen pro Jahr, diese ergeben 4 Wochenmischproben welche analysiert werden. Mittelwert ergibt Grenzwerte nebenstehender Tabelle) Probennahme und Analyse durch Lenzing AG.</p>	<p>Angaben sind max. Werte (Analyse gem. ÖNORM S 2110)</p> <p>Gemische Analyse (bezogen auf TS)</p> <table border="0"> <tr><td>- Chlor</td><td>≤</td><td>1,0 Gew. %</td></tr> <tr><td>- Schwefel</td><td>≤</td><td>0,5 Gew. %</td></tr> <tr><td>- Natrium und Kalium</td><td>≤</td><td>1,0 Gew. %</td></tr> <tr><td>- Fluor</td><td>≤</td><td>150 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Quecksilber</td><td>≤</td><td>1,0 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Blei</td><td>≤</td><td>300 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Zink</td><td>≤</td><td>1.000 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Chrom</td><td>≤</td><td>100 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Arsen</td><td>≤</td><td>1,0 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Kobalt</td><td>≤</td><td>1,0 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Nickel</td><td>≤</td><td>200 mg/kg TS</td></tr> <tr><td>- Cadmium</td><td>≤</td><td>10 mg/kg TS</td></tr> </table>	- Chlor	≤	1,0 Gew. %	- Schwefel	≤	0,5 Gew. %	- Natrium und Kalium	≤	1,0 Gew. %	- Fluor	≤	150 mg/kg TS	- Quecksilber	≤	1,0 mg/kg TS	- Blei	≤	300 mg/kg TS	- Zink	≤	1.000 mg/kg TS	- Chrom	≤	100 mg/kg TS	- Arsen	≤	1,0 mg/kg TS	- Kobalt	≤	1,0 mg/kg TS	- Nickel	≤	200 mg/kg TS	- Cadmium	≤	10 mg/kg TS
- Chlor	≤	1,0 Gew. %																																			
- Schwefel	≤	0,5 Gew. %																																			
- Natrium und Kalium	≤	1,0 Gew. %																																			
- Fluor	≤	150 mg/kg TS																																			
- Quecksilber	≤	1,0 mg/kg TS																																			
- Blei	≤	300 mg/kg TS																																			
- Zink	≤	1.000 mg/kg TS																																			
- Chrom	≤	100 mg/kg TS																																			
- Arsen	≤	1,0 mg/kg TS																																			
- Kobalt	≤	1,0 mg/kg TS																																			
- Nickel	≤	200 mg/kg TS																																			
- Cadmium	≤	10 mg/kg TS																																			
<p>Transport und Anlieferung</p>	<p>als Schüttgut fein, Aufgabe über die Schüttgutgosse</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anlieferung per LKW in abgedeckten Containern/ACTS Container, Walking Floor - Manipulation mit Container-LKW/Hakengerät 																																				

IV. BESCHREIBUNG GEWERBEABFALL WIEN

In diesem Kapitel wird die Methode der Heizwertkennlinien herangezogen um Abfallgemische (Siedlungsabfall) auf Basis von Sortieranalysen beschreiben zu können.

A. Heizwertkennlinien-Methode

Die Heizwertkennlinien-Methode ist eine neue Methode um einerseits Siedlungsabfälle und andere Abfallgemische zu beschreiben und andererseits deren Eignung als Rohstoff für die EBS-Produktion abzuschätzen.

B. Sortieranalyse Gewerbeabfall Wien

Die Sortieranalyse kann nach verschiedenen Methoden durchgeführt werden, zum Beispiel nach der Methode der IG-IUT.

Anhang-Tab. 36: Formular für die Sortieranalyse

Sichtungsanalyse		Volumen [%]	Volumen [m ³]	Dichte [kg/m ³]	Masse [kg]	Masse [%]
1	Papier/Pappe/Kartonagen			102		
2	Holz/Spannplatten/sonstige Holzanteile			216		
3	Kunststoff – Folien und Verbunde			48		
4	Kunststoffrohre			252		
5	Hartkunststoffe/Kunststoffe dickwandig			136		
6	PVC			232		
7	Bodenbeläge/Teppiche			147		
8	Textilien			91		
9	Leder/Kunstleder/Schuhe			134		
10	Gummi/Altreifen			231		
11	Schaumstoff			40		
12	Styropor			24		
13	Bau-Schäume			38		
14	Farbeimer			204		
15	Verbundstoffe (teil-magnetisierbar)			413		
16	Verbundstoffe (nicht magnetisierbar)			174		
17	Teerpappe			319		

18	Biogene Abfälle/Organik			301		
19	Metalle			454		
20	Glas			837		
21	Elektronikschrott/Leiterplatten			398		
22	Problemstoffe/Batterien/ Medikamente			142		
23	Inertstoffe/Steine/Bauschutt/Keramik			845		
24	Gipskartonplatten			266		
25	Sonstiges brennbar			200		
26	Sonstiges unbrennbar			200		
27	Sortierrest			160		

C. Kennlinie

Auswertung einer Heizwertanalyse eines gemischten Abfalls auf Basis der Sortieranlagen

Anhang-Tab. 37: Mathematische Grundlagen für die Heizwertkennlinien-Methode

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

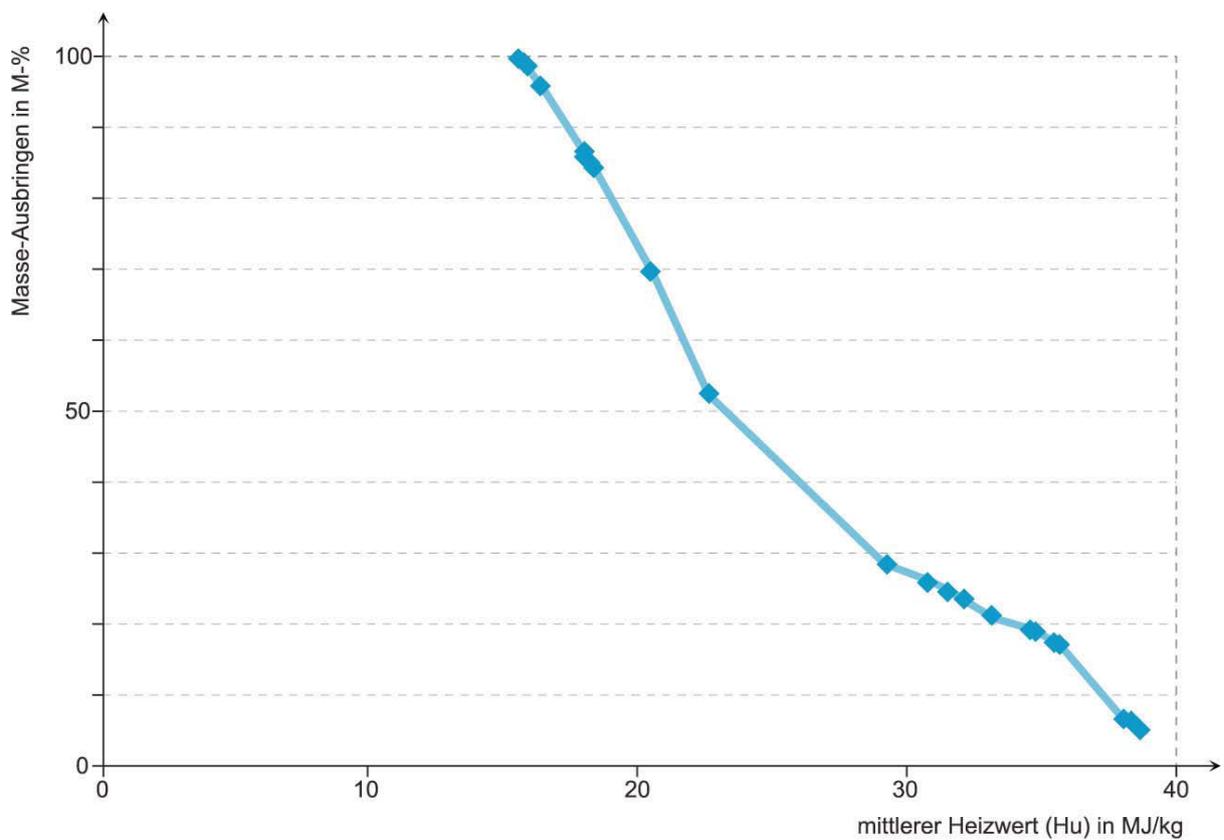
Energieinhalt im energiearmen Gut	$\sum_{i=j}^N (\mu_i a_i)$	in MJ
Mittlerer Heizwert im energiearmen Gut	$a_{s,j} = \frac{\sum_{i=j}^N (\mu_i a_i)}{\sum_{i=j}^N \mu_i}$	in MJ/kg

Anhang-Tab. 38: Berechnungsbeispiel Heizwertkennlinien

		a_i	μ_i	$R_{mL,j} = \sum_{i=1}^j \mu_i$	$\mu_i a_i$	$\sum_{i=1}^j (\mu_i a_i)$	$a_{L,j} = \frac{\sum_{i=1}^j (\mu_i a_i)}{\sum_{i=1}^j \mu_i}$
Fraktion		kJ/kg	M-%	Summe M-%	Energieinhalt [kJ]	Σ Energieinhalt [kJ]	mittlerer Hu-Klasse [kJ/kg]
19	Fe Metalle (magnetisierbar)	0	0,32%	100,00%	0	15.487	15.487
20	Ne Metalle / V2A (nicht magnetisierbar)	0	1,44%	99,68%	0	15.487	15.536
21	Glas	0	2,41%	98,24%	0	15.487	15.764
24	Inertstoffe/Steine/Bauschutt	0	9,04%	95,83%	0	15.487	16.160
25	Gipskartonplatten	3500	0,38%	86,79%	13,3	15.487	17.844
27	Sortierrest	5000	1,68%	86,41%	84	15.473	17.907
26	Fraktion kleiner 20 mm	8000	15,39%	84,73%	1231,2	15.389	18.163
22	Elektronikschrott/Leiterplatten	10250	0,03%	69,34%	3,075	14.158	20.418
2	Holz/Spanplatten/sonst. Holzanteile	14000	16,77%	69,31%	2347,8	14.155	20.423
1	Papier/Pappe/Kartonagen	14500	24,10%	52,54%	3494,5	11.807	22.473
18	biogene Abfälle	15000	2,68%	28,44%	402	8.313	29.229
23	Problemstoffe/Batterien/Medikamente	15000	0,01%	25,76%	1,5	7.911	30.709
6	PVC Bodenbeläge	18750	1,27%	25,75%	238,125	7.909	30.715
11	Schaumstoff	18750	0,24%	24,48%	45	7.671	31.336
7	Bodenbeläge/Teppiche	19000	1,07%	24,24%	203,3	7.626	31.460
17	Teerpappe	19500	1,76%	23,17%	343,2	7.423	32.036
8	Textilien	19750	2,22%	21,41%	438,45	7.080	33.066
9	Leder/Kunstleder/Schuhe	25000	0,24%	19,19%	60	6.641	34.607
10	Gummi/Altreifen	25500	1,21%	18,95%	308,55	6.581	34.728
13	Bu-Schäume	25500	0,31%	17,74%	79,05	6.273	35.358
15	Verbundstoffe (teil - magnetisierbar)	30000	0,21%	17,43%	63	6.193	35.533

5	Hartkunststoffe	34000	10,38%	17,22%	3529,2	6.130	35.601
14	Farbeimer	35000	0,01%	6,84%	3,5	2.601	38.030
12	Styropor	36000	0,60%	6,83%	216	2.598	38.034
4	Kunststoffrohre	37000	0,33%	6,23%	122,1	2.382	38.230
16	Verbundstoffe (nicht - magnetisierbar)	37000	0,79%	5,90%	292,3	2.260	38.299
3	Kunststofffolien	38500	5,11%	5,11%	1967,35	1.967	38.500

D. Kennliniendiagramm



Anhang-Abb. 9: Kennliniendiagramm

V. STOFFFLUSSANALYSE

A. Probenahme

Die Abwicklung der beiden Probenahmewochen (KW 13 sowie KW 19) erfolgte entsprechend den einschlägigen Normen (ÖNORM S2123 Teil 1 & 3).

1. Probenahme 1 - Kalenderwoche 13

Die erste der insgesamt zwei Untersuchungen wurde vom 27.03.2006 – 31.03.2006 durchgeführt. Um die dabei beprobten Stoffströme auf ihre Zusammensetzung hin analysieren zu können, bedurfte es eines zuvor ausgearbeiteten Beprobungsplans. Da im Vorjahr bereits ähnliche Stoffstromuntersuchungen für die Splittinganlage in Graz durchgeführt wurden, wurde der damals entwickelte Probenahmeplan übernommen und den Gegebenheiten in Wien angepasst.

In der ersten Probenahmewoche wurden die nachfolgenden Stoffströme beprobt und auf ihre Zusammensetzung und Brennstoffqualität hin untersucht. Eine Grundlage für das Analysenprogramm bildete dabei der in abgebildete Plan.

Anhang-Tab. 39: Untersuchte Fraktionen und Parameter, KW13

Fraktionsbezeichnung	Parameter	
	Schwermetalle	Brennstoffcharakterisierung
0 – 20 mm	Fe, Cu, Cd, Hg, Pb (Auszug)	Chlorgehalt
20 – 60 mm („Ofenfertiges Material“)		Heizwert
ThermoTeam, > 60 mm, Windsichter- oberlauf, Leichtgut		Glühverlust
Fe grob (ferromagnetisch > 60 mm)		Wassergehalt
Windsichterunterlauf > 60 mm, Schwergut		Biogener Anteil
		keine
	Wieder aufgegeben, nicht beprobt	

Die repräsentativen Proben der in adsf gezeigten Stoffströme wurden in der Folge chemisch/physikalisch im Labor des IAE auf ihre Zusammensetzung und die Brennstoffparameter hin analysiert. Bei großen Stücken, welche nicht im Doppelwellenzerkleinerer (DWZ) aufbereitet werden konnten – dies betrifft vor allem die aussortierten Störstoffe der Brennstoff-Fraktionen sowie die Metallfraktion „Fe grob“ – wurde eine Sortierung anhand optischer (z.B. Cu) und physikalischer Kriterien (magnetisch / nicht magnetisch) durchgeführt (vgl. Probenaufbereitung, welche in Anhang-Tab. 40 dargelegt ist).

ne, Glas, Metallteile) vorgenommen, um den DWZ im nachfolgenden Aufbereitungsschritt nicht zu beschädigen. Hierin wurde das Material der eingesetzten Fraktionen auf Korngrößen < 30 mm zerkleinert und auf ca. 40 l verjüngt. Die aussortierten Störstoffe wurden ebenfalls zu Tagesproben zusammengefasst und anhand optischer und physikalischer Kriterien aufgetrennt. Ein Überblick über das genaue Probenahmeprogramm ist in Anhang-Tab. 40 ersichtlich. Am letzten Probenahmetag wurden die gesammelten Tagesproben der Fraktionen vermischt und durch fraktioniertes Schaufeln auf Wochenproben verjüngt.



Anhang-Abb. 11: Viertelung der Tagesprobe 20 – 60 mm, 30.03.06 - KW 13

Anhang-Tab. 40: Proben und Aufbereitung – KW13

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Probe	Aufbereitung
0 – 20 mm	ca. 140 l pro Tag	keine
Ofenfertig 20 – 60 mm	ca. 600 l pro Tag	Verwiegung und Störstoffaussortierung, Zerkleinerung mit DWZ, Verjüngung auf 40 l durch Fraktioniertes Schaufeln, Sortierung der Störstoffe (vor Ort und im Labor)
ThermoTeam, > 60 mm, Windsichteroberlauf, Leichtgut	ca. 1 Ballen pro Stunde, davon ein Segment (im Schnitt 20 kg)	Verwiegung und Störstoffaussortierung, Zerkleinerung mit DWZ, Verjüngung auf 40 l durch Fraktioniertes Schaufeln, Sortierung der Störstoffe (vor Ort und im Labor)
ferromagnetisch > 60 mm Fe grob	ca. 50 kg pro Tag	Manuelle Sortierung in Eisen und Stahl, Kunststoff, Verbunde, Cu-hältig, Batterien und Akkumulatoren,

	Cu und Batterien wurden im Labor weiter sortiert
Windsichterunterlauf > 60 mm, Schwergut	nicht beprobt, im Kreis geführt

Obenstehende Tabelle bietet einen Überblick über die gezogenen Probenmengen/Probenanzahl während der ersten Untersuchungswoche (vgl. Anhang-Tab. 40). Die verminderte Probenanzahl – und daraus resultierend auch der Probenmenge am ersten und letzten Tag der Beprobung begründet sich zum einen durch die benötigte Zeit für die Installation/Demontage der benötigten Infrastruktur (DWZ, Waage, herrichten einer Sortierstelle) sowie durch störungsbedingte Unterbrechungen des Betriebes.



Anhang-Abb. 12: Zerkleinerung mittels DWZ, 09.05.06 - KW 19

Anhang-Tab. 41: Probenanzahl und Mengen – KW13

Fraktion	Tagesproben					MW TP	Wochenprobe
	27.03.06	28.03.06	29.03.06	30.03.06	31.03.06	KW13	KW13
[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
0-20	9,13	60,84	65,47	55,34	35,59	45,27	226,37
20-60	31,43	127,56	140,03	125,54	83,34	101,58	507,90
FeG	25,12	65,94	70,29	60,59	35,43	51,47	257,37
TT	91,52	105,89	134,89	145,89	107,90	117,22	586,09
Probenanzahl							

Fraktion	27.03.06	28.03.06	29.03.06	30.03.06	31.03.06	Gesamt	Mittel
0-20	4	17	17	17	9	64	13
20-60	4	16	17	17	9	63	13
FeG	2	2	2	2	1	9	2
TT	3	5	8	8	6	30	6

Wie zuvor schon erläutert, wurden bei der Sortierung die Gehalte teilweise abgeschätzt anstatt analysiert. Die Grundlagen für die Abschätzungen sind in nachfolgender Tabelle dargelegt (vgl. Anhang-Tab. 42).

Anhang-Tab. 42: Methodik zur Bestimmung der Gehalte der Fraktionen – KW13

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Bestimmung	Berechnung
0 – 20 mm	chem. Analyse des Materials und der feinen Störstoffe	Analysenwerte über Anteile auf Gesamtmasse hochgerechnet
Ofenfertig 20 - 60 mm	Sortierung der groben Störstoffe	Cd Akkumulatormasse x 0,15
ThermoTeam		Hg Knopfzellenmasse x 0,3 Cu Anteil optisch über Volumen und Dichte abgeschätzt
FE grob (ferromagnetisch > 60 mm)	Sortierung der Wertstoffe	Cd Akkumulatormasse x 0,15 Hg Knopfzellenmasse x 0,3 Cu Anteil optisch über Volumen und Dichte abgeschätzt
Windsichterunterlauf > 60 mm, Schwergut	Nicht bestimmt, im Kreis geführt	

2. Probenahme 2 - Kalenderwoche 19

Die zweite Probenahme fand in der Kalenderwoche 19 (27.03.2006 – 31.03.2006) statt. Neben den Stoffströmen aus der Kalenderwoche 13 wurden nun, nach dem nahezu abgeschlossenen Umbau der Anlage, auch die neu hinzugekommenen Stoffströme beprobt. Der Probenahmeplan wurde hierzu aus der vorangegangenen Probenahmewoche übernommen und um die zusätzlich anfallenden Fraktionen ergänzt.

Nach dem Umbau umfasst die Splittinganlage nunmehr folgende Aggregate: Im Eingangsbereich, zur Zerkleinerung, einen Shredder, ein 80-mm-Sieb, einen Windsichter, ein 20-mm-Sieb, zwei Eisenabscheider (einer in der Fraktion > 80 mm und einer in der Fraktion 20 – 80 mm). Für das Leichtgut ist in der Anlage eine Ballenpresse installiert.

Das Schwergut des Windsichters wird nochmals aufgegeben. In den Stoffstrom der Fraktion 20 – 80 mm wurde zusätzlich ein NE-Abscheider integriert, der neben einer stark aluhältigen NFe-Fraktion eine weitere Eisenfraktion (Fe(Ne)) ausschied. Nach dem NE-Abscheider durchläuft der Stoffstrom noch einen Störstoff-Abscheider. In ihr werden – von der Funktionsweise ähnlich einem Windsichter – restliche Gehalt an Metallen sowie Steine und Glas abgeschieden.

Anhang-Tab. 43: Untersuchte Fraktionen und Parameter, KW19

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Schwermetalle	Brennstoff- charakterisierung
0 – 20 mm	Fe, Cu, Cd, Hg, Pb (Aus- zug)	Chlorgehalt Heizwert Glühverlust Wassergehalt Biogener Anteil
20 – 80 mm („Ofenfertig“)		
ThermoTeam, > 80 mm, Wind- sichteroberlauf, Leichtgut		
WS (Output an ofenfertigem Material)		
Fe grob – Eisenabscheider 1 (ferromagnetisch > 80 mm)		keine
Fe fein – Eisenabscheider 2 (ferromagnetisch < 80 mm)		
NE (Nichteisen)		
Fe(Ne) – Eisen aus dem Nichteisenabscheider		
Störstoffe aus der Störstoff- Falle		Heizwertabschätzung
Windsichterunterlauf > 80 mm, Schwergut	Wieder aufgegeben, nicht beprobt	

Die repräsentative Proben der in Anhang-Tab. 43 gezeigten Stoffströme wurden in der Folge analog zur ersten Probenahme chemisch/physikalisch im Labor des IAE auf ihre Zusammensetzung und die Brennstoffparameter hin analysiert. Bei großen Stücken, welche nicht im DWZ aufbereitet werden konnten – dies betrifft die aussortierten Störstoffe der Brennstofffraktionen sowie die Metallfraktionen und die Fraktion aus dem Störstoff-Abscheider – wurde wiederum eine Sortierung durchgeführt.

Wie schon in der ersten Probenahmewoche, wurde auch in der KW 19 danach getrachtet, die Proben aus einem fallenden Gutstrom zu ziehen. In der nachfolgender Abbildung sind die gewählten Probenahmestellen eingetragen (vgl. Anhang-Abb. 13).

		oniertes Schaufeln, Sortierung der Störstoffe (vor Ort und im Labor)
ThermoTeam, > 80 mm, Windsichteroberlauf, Leichtgut	ca. 1 Ballen pro Stunde, davon ein Segment (im Schnitt 20 kg)	Verwiegung und Störstoffaussortierung, Zerkleinerung mit DWZ, Verjüngung auf 40 l durch Fraktioniertes Schaufeln, Sortierung der Störstoffe (vor Ort und im Labor)
ferromagnetisch > 80 mm Fe grob	ca. 50 kg pro Tag	Manuelle Sortierung in Eisen und Stahl, Kunststoff, Verbunde, Cu-hältig, Batterien und Akkumulatoren, Cu und Batterien wurden im Labor weiter sortiert
Fe fein (Eisenabscheider 2)	ca. 20 kg pro Tag	
NE (Nichteisen)	ca. 15 kg pro Tag	
Fe(Ne) – Eisen aus dem Nichteisenabscheider	ca. 15 kg pro Tag	Manuelle Sortierung in Eisen und Stahl, Kunststoff, Verbunde, Cu-hältig, Batterien und Akkumulatoren, Cu und Batterien wurden im Labor weiter sortiert
Störstoffe aus der Störstoff-Falle	ca. 80 kg pro Tag	
Windsichterunterlauf > 80 mm, Schwergut	Nicht bestimmt, im Kreis geführt	

Während der Probenahme wurde die Outputfraktion an ofenfertigem Material und die Eisenfraktion aus dem Nichteisenabscheider in den Probenahmeplan aufgenommen. Von den insgesamt neun beprobten Stoffströmen mussten also fünf aufgrund ihrer Zusammensetzung (Metalle, Störstoffe) zeitaufwendig sortiert werden. Nach Absprache mit dem Auftraggeber wurden daher die Probenahmeintervalle verlängert. Hierdurch reduzierte sich die Anzahl der Einzelproben. Auch in der Probenahmewoche 19 kam es zu mehreren Betriebsstillständen in der Anlage, welche ebenfalls zu einer Verminderung der Probenanzahl beitrugen.

Die Stillstände rührten zum einen aus der Reinigung der Staubfilteranlage her, zum anderen führte ein massives Eisenteil im Shredder zu einem längeren Betriebsausfall. In Anhang-Tab. 45 sind die resultierenden Probenmengen und die Anzahl der Beprobungen für den Untersuchungszeitraum dargestellt.

Anhang-Tab. 45: Probenanzahl und Mengen – KW19

Tagesproben						MW TP	Wochenprobe
Fraktion	08.05.2006	09.05.2006	10.05.2006	11.05.2006	12.05.2006	KW19	KW19
[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
0-20	36,26	72,70	61,26	38,42	15,17	44,76	223,80
20-80	51,80	109,47	98,33	68,98	21,07	69,93	349,64
TT	73,34	121,36	103,17	74,28	42,65	82,96	414,80
NE	13,09	14,88	11,15	7,63	9,84	11,32	56,58
FeG	16,12	41,98	48,37	66,76	21,13	38,87	194,36
Fef	22,47	16,31	13,79	15,12	17,10	16,96	84,79
FeNe	13,13	19,51	14,06	8,95	10,81	13,29	66,45
WS	-	-	46,34	78,33	65,19	63,29	189,86
ST	28,19	91,00	88,42	139,71	61,32	81,73	408,64
Probenanzahl							
Fraktion	08.05.2006	09.05.2006	10.05.2006	11.05.2006	12.05.2006	Gesamt	Mittel
0-20	8	14	11	10	4	47	9
20-80	8	14	12	10	4	48	10
TT	5	6	6	5	2	24	5
NE	1	1	1	1	1	5	1
FeG	1	2	2	2	2	9	2
Fef	1	1	1	1	1	5	1
FeNe	1	1	1	1	1	5	1
WS	0	0	5	9	6	20	4
ST	1	2	3	6	2	14	3

In Anhang-Tab. 46 ist die zugrunde gelegte Methodik für Analytik bzw. die Abschätzungen für die Metallfraktionen aufgelistet. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Analysen der beiden Untersuchungszeiträume gewährleisten zu können, wurde die Methodik aus der KW 13 für die KW 19 übernommen. Bei großen Stücken, welche nicht im DWZ aufbereitet werden konnten – dies betrifft die aussortierten Störstoffe der Brennstoff-Fraktionen sowie die Metallfraktionen und die Fraktion aus dem Störstoff-Abscheider – wurde wiederum eine Sortierung durchgeführt.

Anhang-Tab. 46: Methodik zur Bestimmung der Gehalte der Fraktionen – KW19

Fraktion Bezeichnung	Parameter	
	Bestimmung	Berechnung
0 – 20 mm Ofenfertig 20 - 60 mm WS Ofenfertig - Output ThermoTeam	chem. Analyse des Materials und der feinen Störstoffe	Analysenwerte über Anteile auf Gesamtmasse hochgerechnet
	Sortierung der gro- ben Störstoffe	Cd Akkumulatormasse x 0,15 Hg Knopfzellenmasse x 0,3 Cu Anteil optisch über Volu- men und Dichte abge- schätzt
Fe 1 (ferromagnetisch > 80 mm) Fe 2 (ferromagnetisch < 80 mm) NE (Nichteisen) Fe(Ne) – Fe aus dem NE- Absch. Störstoffe	Sortierung der Wertstoffe	Cd Akkumulatormasse x 0,15 Hg Knopfzellenmasse x 0,3 Cu Anteil optisch über Volu- men und Dichte abge- schätzt
Windsichterunterlauf > 80 mm, Schwergut	Nicht bestimmt, im Kreis geführt	

B. Probenbeschreibung

Nachfolgend wird eine Übersicht über die beprobten Stoffströme geboten.

1. Probenbeschreibung KW 13

- **0 – 20 mm**

Die Fraktion 0 – 20 mm (vgl. Anhang-Abb. 14) stellt das Unterkorn aus dem 20-mm-Sieb dar. Aufgrund der geringen Korngröße wurde bei der Beprobung der Fraktion auf eine nachfolgende Zerkleinerung im DWZ verzichtet. Die gezogenen Proben wurden daher direkt nach der Ziehung in einen Big-Bag überführt und am Ende der Probenahmewoche zu einer Wochenmischprobe vermengt und verjüngt. Obwohl danach getrachtet wurde, die Proben während der KW13 dunkel zu lagern, kam es aufgrund des hohen organischen Anteils zu einer merklichen Temperaturerhöhung.



Anhang-Abb. 14: Beprobung aus dem Abwurf 0 – 20 mm (28.03.06) und Kübel mit gezogener Probe (30.03.06) - KW 13

- **20-60 mm**

Die Fraktion 20 – 60 mm dient als Substitutbrennstoff in der Wirbelschichtfeuerung. Bei der Beprobung zeigte sich bei der Aussortierung der Störstoffe ein vergleichsweise hoher Anteil an Glas und Steinen, wobei allerdings zu diesem Zeitpunkt der Störstoff-Abscheider noch nicht in Betrieb war.

- **TT-Ballen**

Hierunter versteht man die Leichtfraktion, die vorwiegend aus „zweidimensionalen“ Kunststoffen (z.B. Folien), Papier sowie PET-Flaschen besteht (vgl. Anhang-Abb. 15). Aufgrund der Verwendung eines 60-mm-Siebes lagen Alu-Dosen in den gezogenen Proben vor. Die Leichtfraktion wird in der ThermoTeam-Anlage weiter aufbereitet und in der Zementindustrie als Substitutbrennstoff eingesetzt. Für die Beprobung wurden zwei Schichten über den gesamten Querschnitt eines TT-Ballens herangezogen (im Schnitt ca. 20 kg).



Anhang-Abb. 15: Vorsortierung einer gezogenen TT-Probe – 29.03.06, KW 13

- **FeG**

Metallfraktion aus dem Eisenabscheider Fe 1. Aufgrund der massiven Komponenten (Verbunde mehrerer Metalle) ist ein sehr heterogener Anfall gegeben. Durch das Vorliegen von Drähten liegen in der Fraktion auch Gewebeteile und Kunststofffolien vor, welche teilweise nur schwer von Drahtgewirr und anderen Fe-Teilen zu entfernen waren.

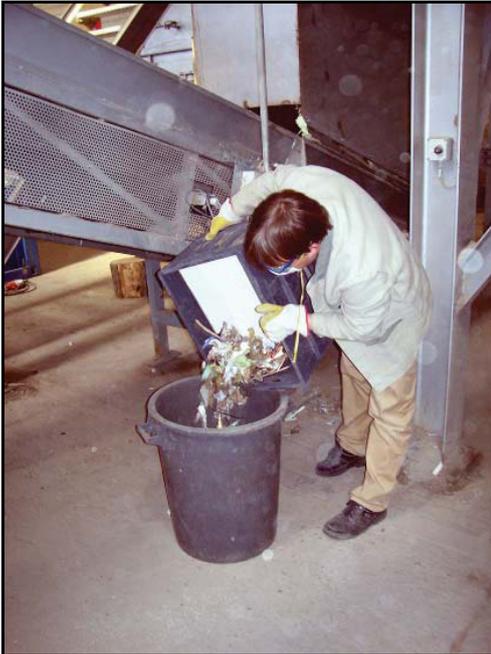
2. Probenbeschreibung KW 19

- **0 – 20 mm**

Beschreibung analog zu KW 13. Auch in der KW 19 kam es zu einer Wärmeentwicklung bei der Zwischenlagerung der Probe in der Splittinganlage.

- **20 – 80 mm**

Die Fraktion 20 – 80 mm entspricht im Großen und Ganzen der Fraktion 20 – 60 mm aus der KW 13 – mit dem Unterschied, dass anstatt des 60-mm-Siebes wieder ein 80-mm-Sieb verwendet wurde. Die Beprobung erfolgte an derselben Stelle wie in der KW13 (vgl. Anhang-Abb. 16).



Anhang-Abb. 16: Probenahmestelle 20-80 mm, 09.05.06 - KW 19

- **TT-Ballen**

Beschreibung der TT-Ballen analog zu jenen aus der KW 13. Aufgrund des verwendeten 80-mm-Siebes wurde die Anzahl der Al-Dosen, welche in der manuellen Vorsortierung der Störstoffe vor dem DWZ ausgeschleust wurden, stark vermindert.

- **FeG – Eisen „grob“ aus dem ersten Fe-Abscheider**

Metallfraktion aus dem Eisenabscheider Fe 1 (vgl. KW 13).

- **Fef – Eisen „fein“ aus dem zweiten Fe-Abscheider**

Metallfraktion aus dem zweiten Eisenabscheider. Der Abscheider ist direkt in den Stoffstrom der Fraktion 20 – 80 mm geschaltet. Die Fraktion bestand vorwiegend aus Drähten, Weißblechdosen, Schraubverschlüssen und Folienmaterial, welches mit dem Eisen abgetrennt wurde.



Anhang-Abb. 17: Probenahmestelle NE-Abscheider – Fef-Container, 09.05.06 – KW 19

- **NE – Nichteisenfraktion aus dem Nichteisenabscheider**

Der Nichteisenabscheider arbeitet nach dem diamagnetischen Prinzip, wodurch neben einer NE-Fraktion auch eine Fe-Fraktion aus dem Abscheider anfällt. Die NE-Fraktion (vgl. Anhang-Abb. 17 sowie Anhang-Abb. 18) bestand zum überwiegenden Teil aus Getränkedosen, daneben wurden auch noch Teile aus dem Baubereich (z.B. Bleche) erfasst. Die abgetrennte Fe-Fraktion unterschied sich deutlich von der Fe-Fraktion aus dem zweiten Eisenabscheider.



Anhang-Abb. 18: Probenahmestelle NE-Abscheider – NE-Container, 09.05.06 – KW 19

- **Fe(NE) – Eisenfraktion aus dem Nichteisenabscheider**

Wie zuvor geschildert, wurde beim NE-Abscheider auch die dort anfallende Fe-Fraktion beprobt. Diese wies einen – bereits optisch erkennbaren erhöhten Anteil an Batterien und Akkus – auf. Da die Fraktionen Fef und Fe(NE) mengenmäßig von der Betriebsleitung nur zusammen erfasst wurden (vergleichsweise geringe Anfallmengen) musste nach der Probenahmewoche eine Abschätzung des Anfallsverhältnisses der beiden Fraktionen durchgeführt werden.

- **20 – 80 mm - Output (Output aus der ofenfertigen 20 – 80 mm Fraktion)**

Die Proben wurden dem Stoffstrom an ofenfertigen Material nach dem Störstoff-Abscheider entnommen. Als Beispiel sei hier nachfolgende Abbildung angegeben, welche Proben dieser Fraktion zeigt. Diese stellt somit die in der Splittinganlage fertig aufbereitete, ofenfertige Fraktion dar.



Anhang-Abb. 19: Proben der Fraktion 20 – 80 mm Output – 10.05.06 - KW 19

- **Störstoffe**

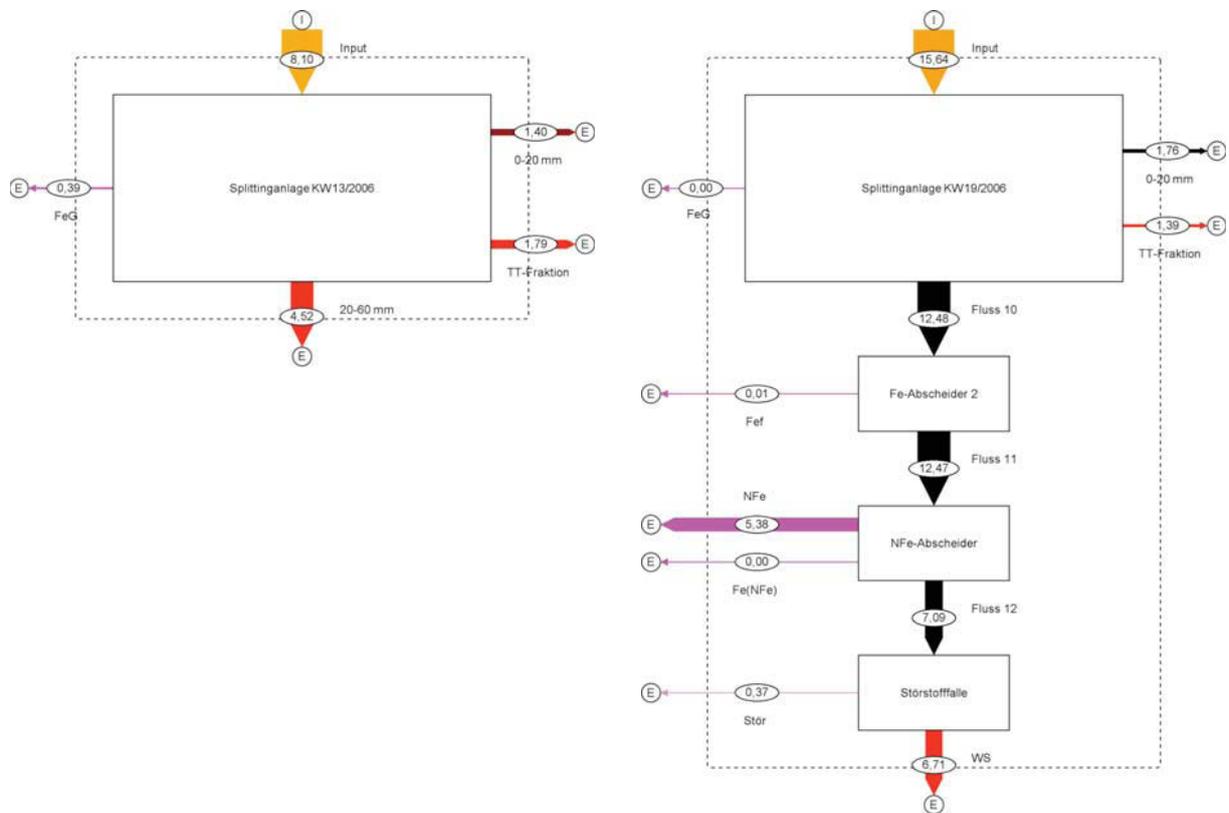
Mittels der Störstoff-Falle werden inerte Stoffe (Glas, Steine, Metalle) aus dem 20-80 mm Strom abgezogen. Die Funktionsweise ist ähnlich dem eines Windsichter. Anhang-Abb. 20 zeigt die Probenahmestelle für die Störstoffe. Aufgrund der massiven Teile konnte keine Beprobung aus dem fallenden Gutstrom erfolgen (Sicherheitsaspekte). Die Proben wurden daher in regulären Arbeitspausen sowie während längerer Betriebsstillstände (Betriebsstörungen, Containerwechsel) durchgeführt.



Anhang-Abb. 20: Probenahmestelle Störstoff-Container, 11.05.06 - KW 19

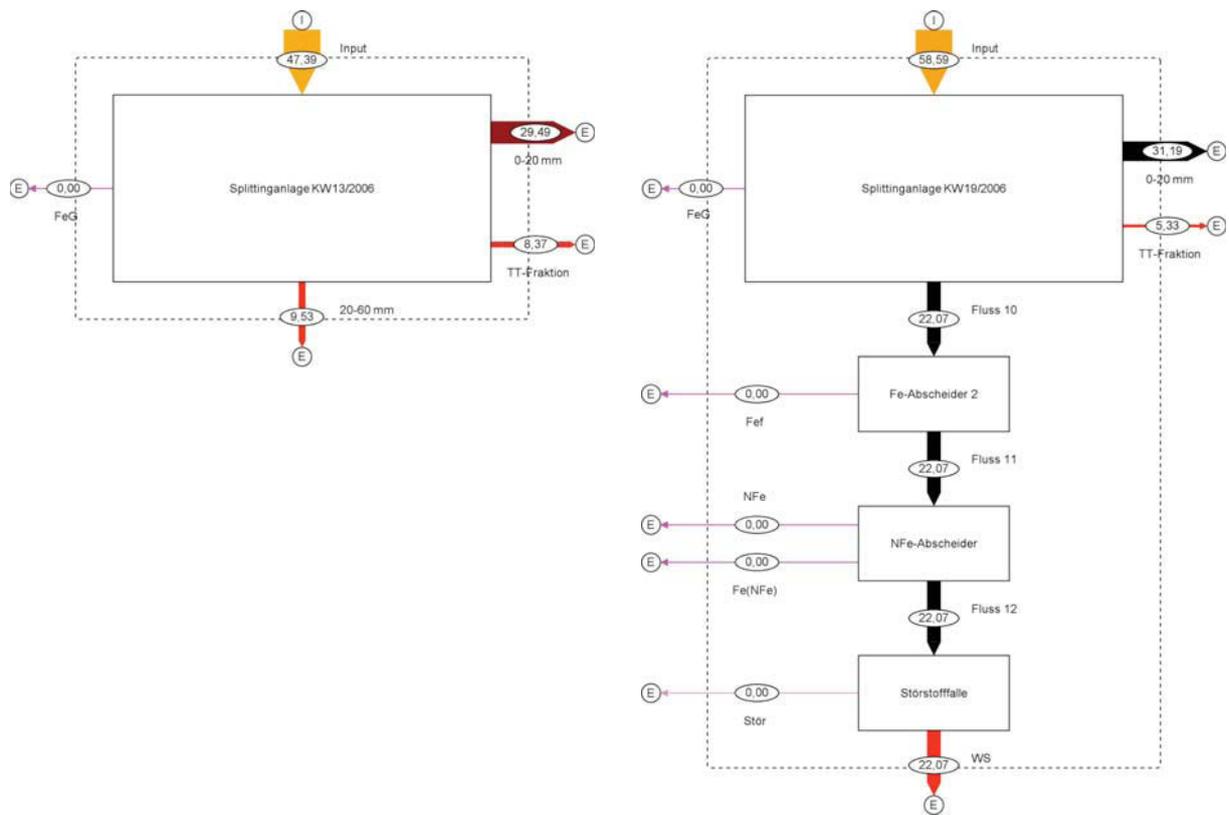
C. Vergleich der Stoffflussanalysen

Sankey-Diagramme: Aluminium (Al)



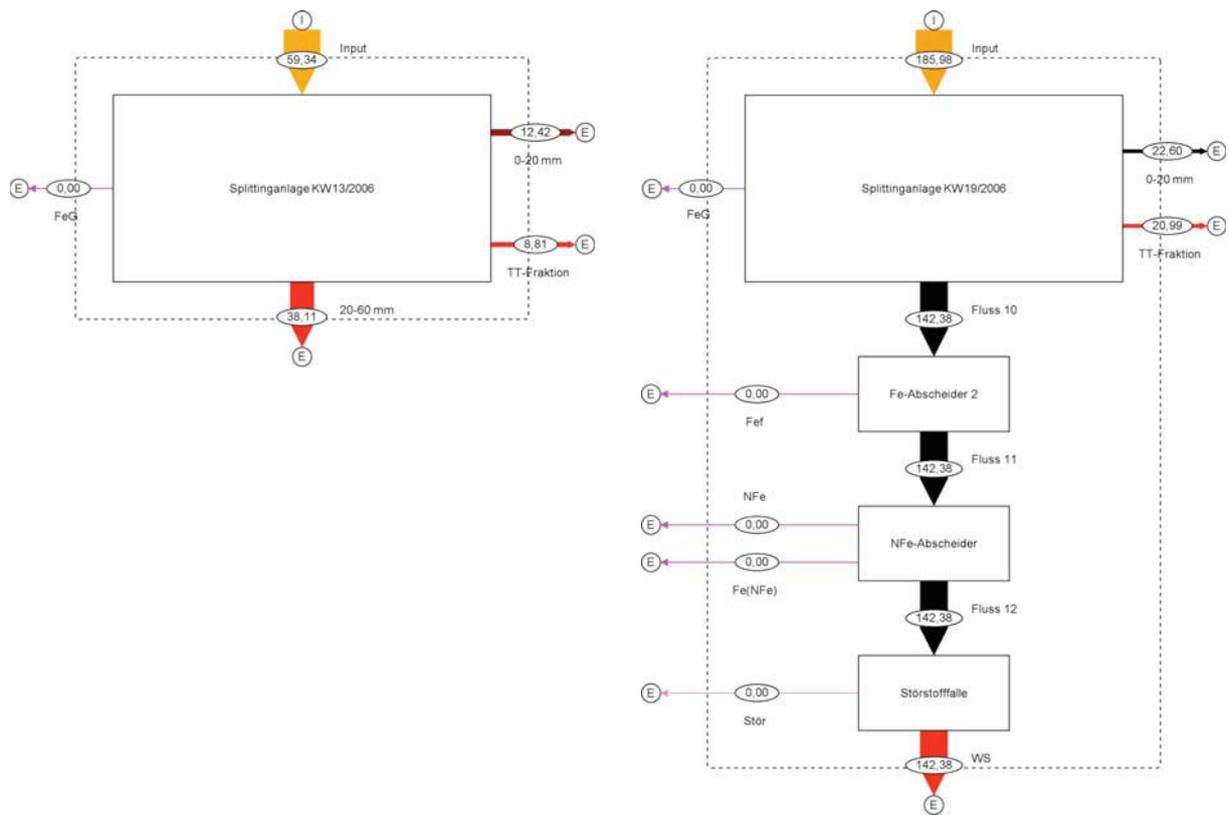
Anhang-Abb. 21: Sankey-Diagramme: Aluminium. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 8,10 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 15,64 t)

Sankey-Diagramme: Chrom (Cr)



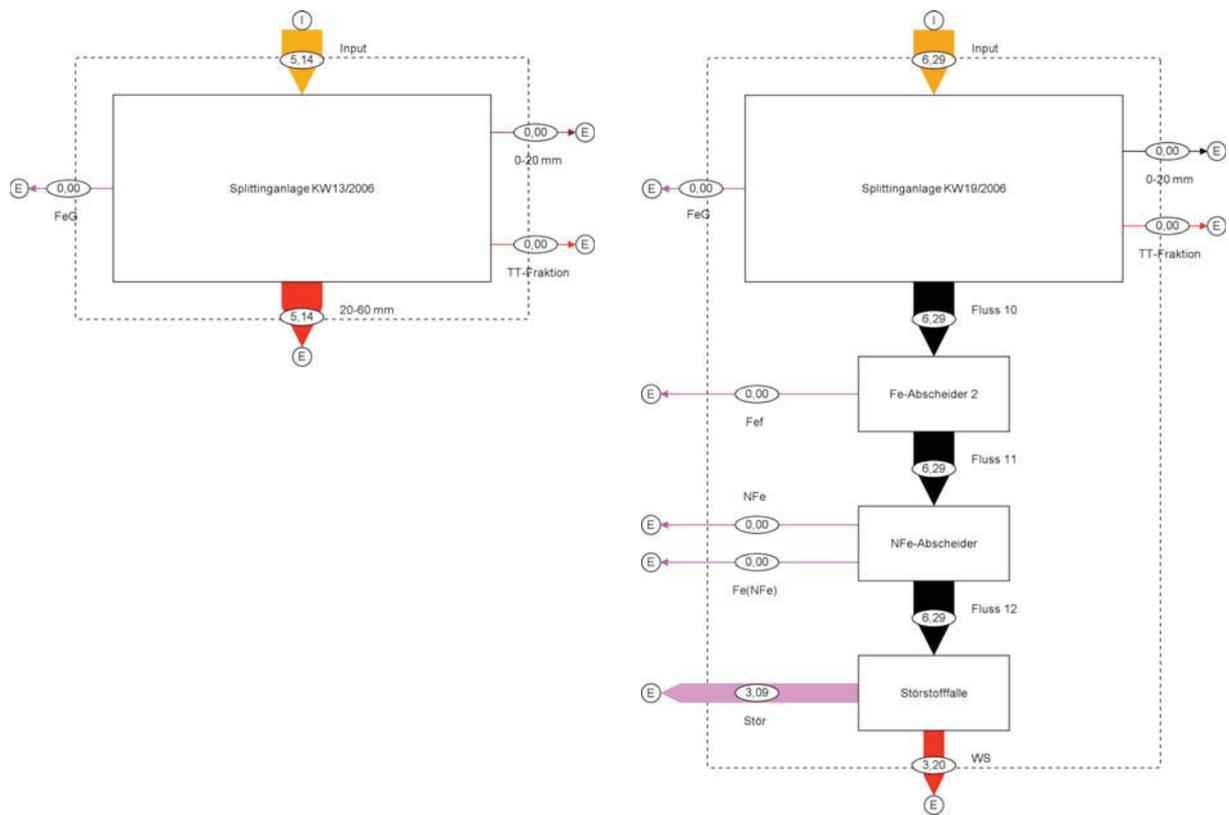
Anhang-Abb. 22: Sankey-Diagramme: Chrom. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 47,39 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 58,59 kg)

Sankey-Diagramme: Fluor (F)



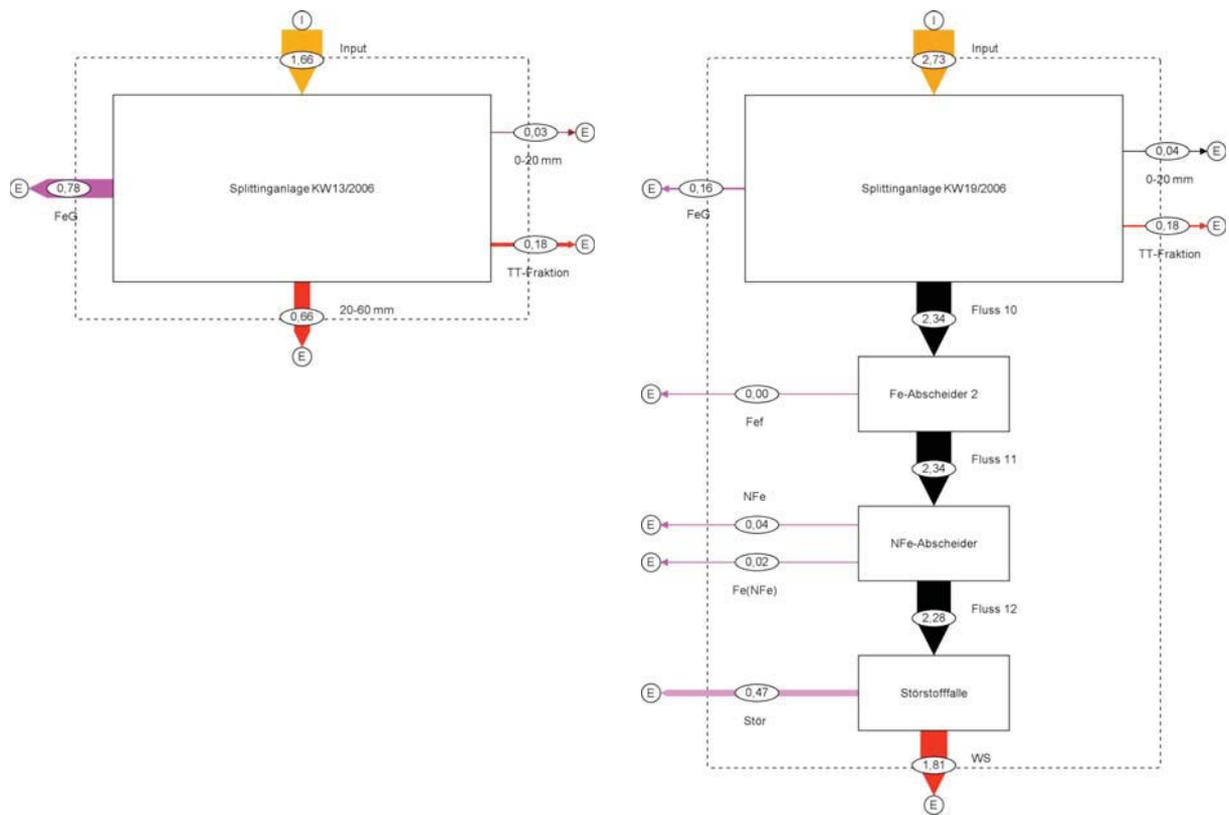
Anhang-Abb. 23: Sankey-Diagramme: Fluor. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 59,34 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 185,98 kg)

Sankey-Diagramme: Glas



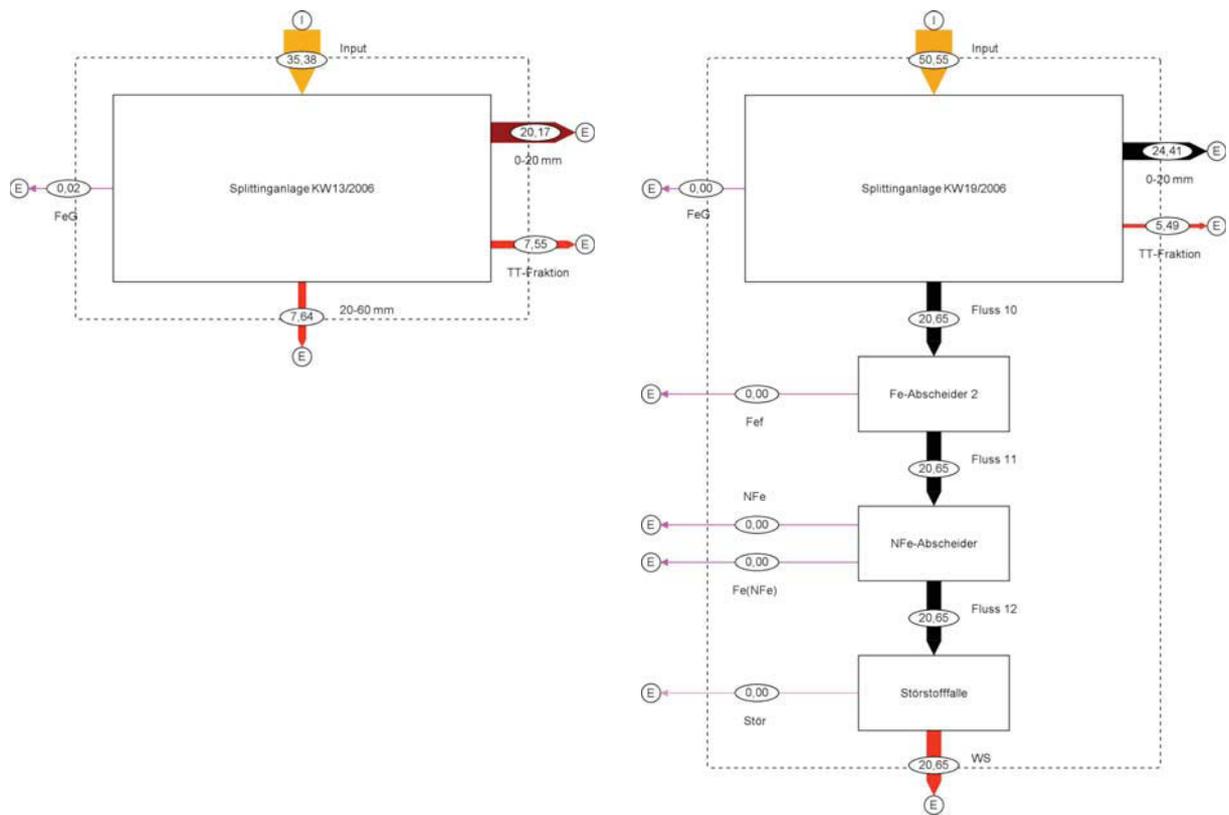
Anhang-Abb. 24: Sankey-Diagramme: Glas. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 5,14 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 6,29 t)

Sankey-Diagramme: Kupfer (Cu)



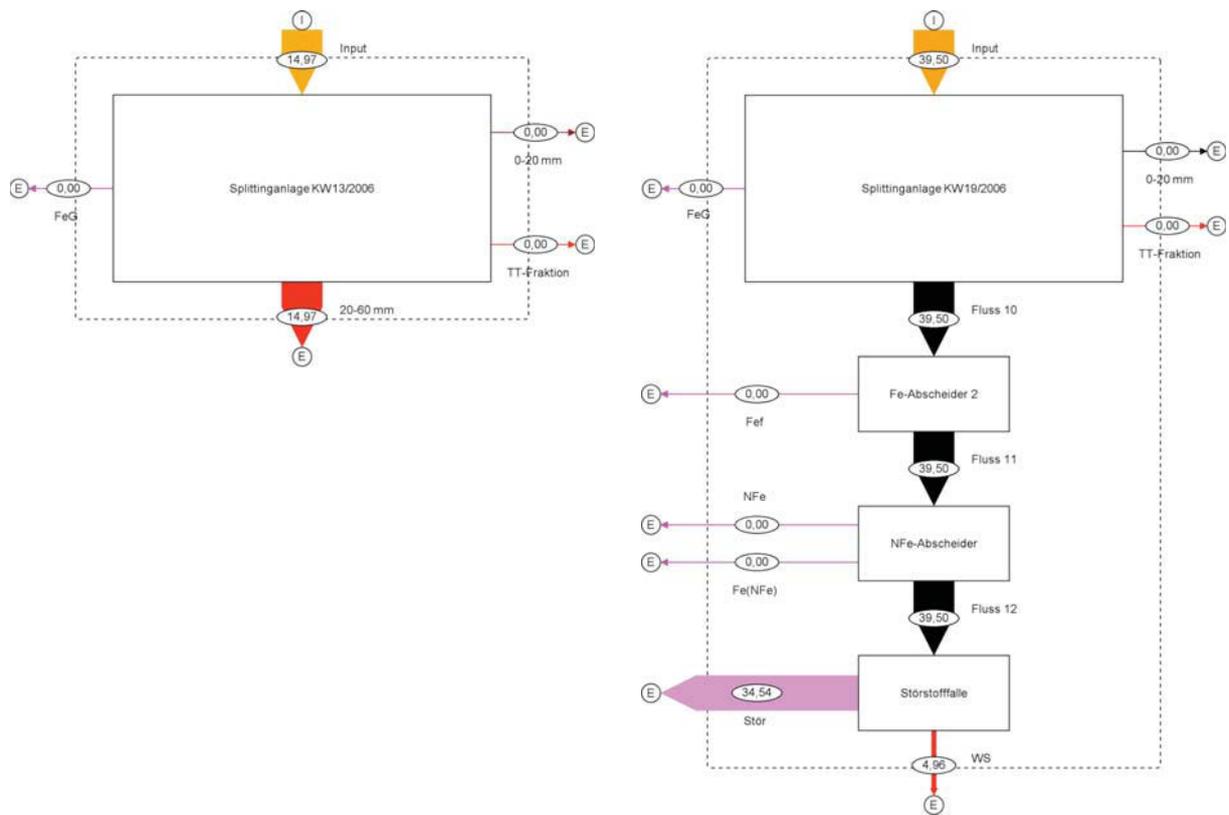
Anhang-Abb. 25: Sankey-Diagramme: Kupfer. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 1,66 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 2,73 t)

Sankey-Diagramme: Nickel (Ni)



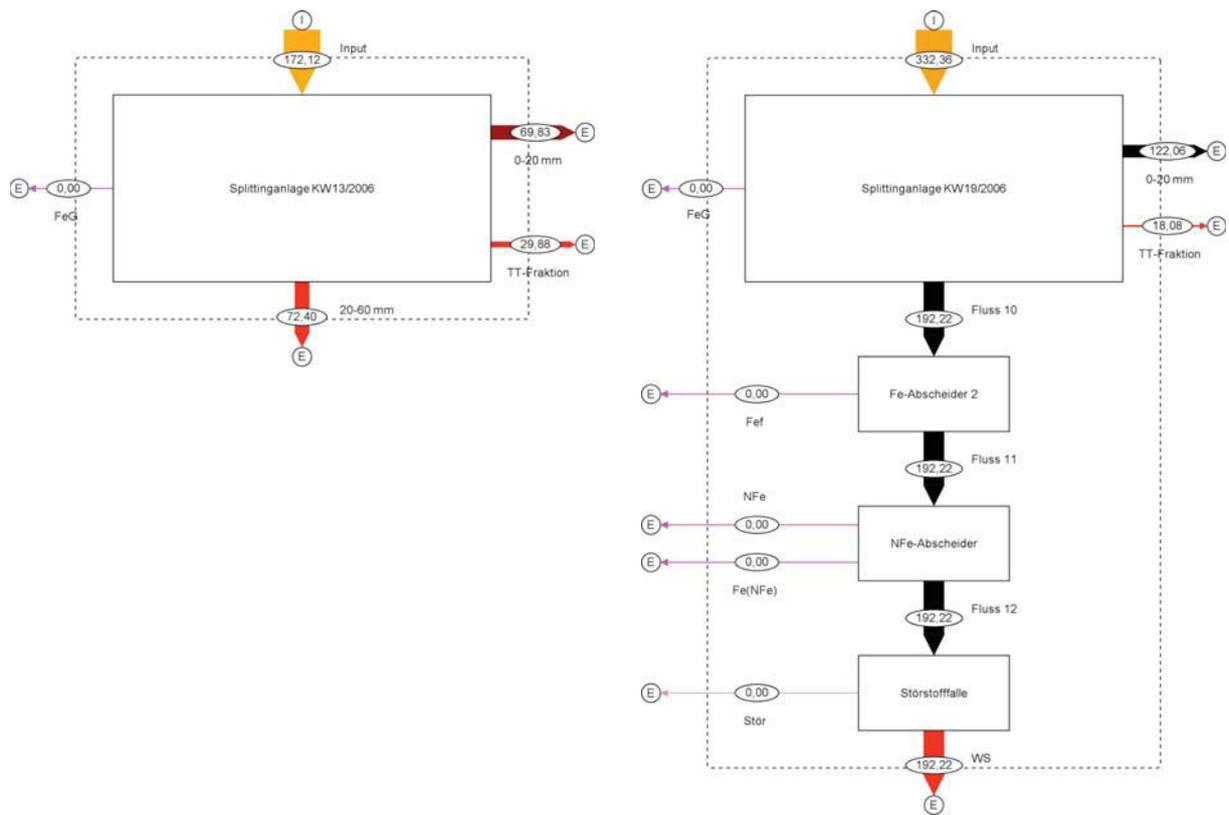
Anhang-Abb. 26: Sankey-Diagramme: Nickel. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 35,38 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 50,55 kg)

Sankey-Diagramme: Stein



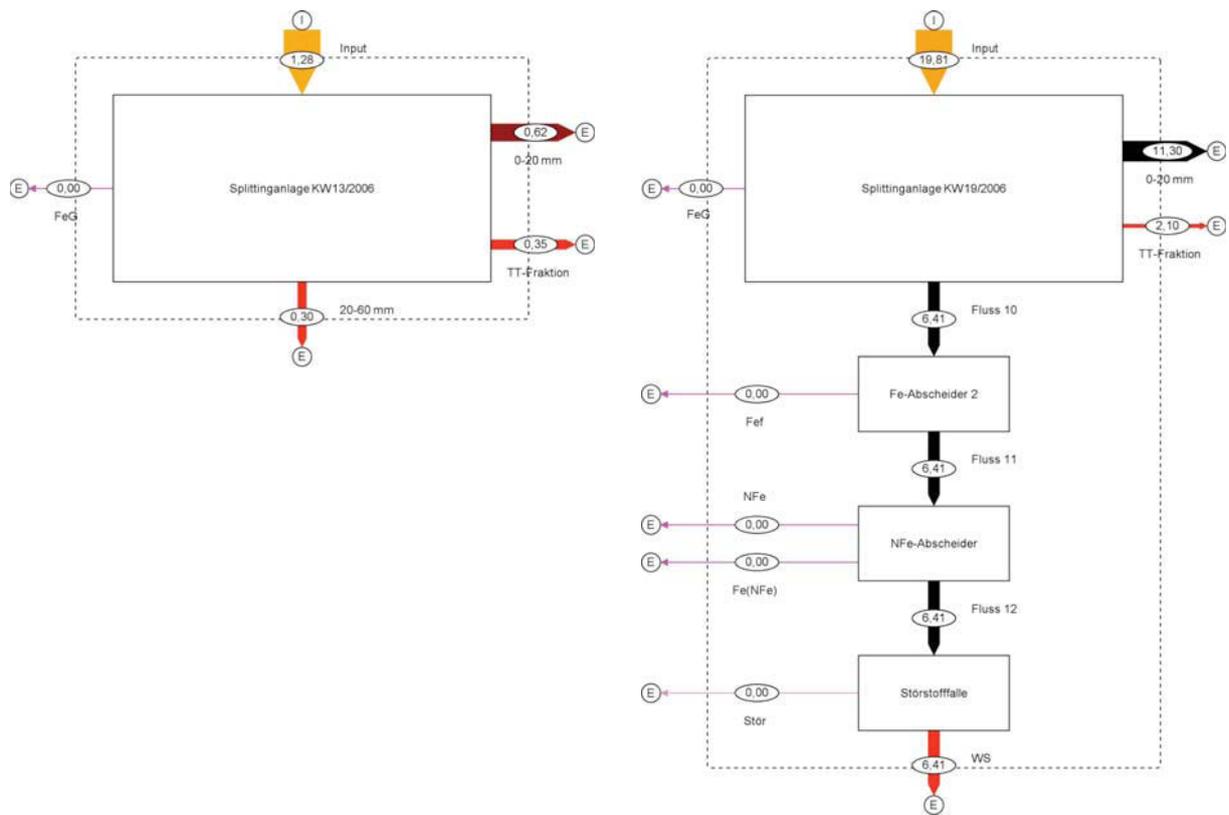
Anhang-Abb. 27: Sankey-Diagramme: Stein. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 14,97 t) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 39,50 t)

Sankey-Diagramme: Zink (Zn)



Anhang-Abb. 28: Sankey-Diagramme: Zink. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 172,12 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 332,36 kg)

Sankey-Diagramme: Zinn (Sn)



Anhang-Abb. 29: Sankey-Diagramme: Zinn. Vergleich des MFA-Systems KW13/2006 (Gesamtinput: 1,28 kg) zum MFA-System KW19/2006 (Gesamtinput: 19,81 kg)

VI. Modulares EBS-Produktionssystem

- **Modul 1 - Ausgangs- und Eingangskontrolle**

Die anliefernden Fahrzeuge und auch die Fahrzeuge, die das bereits aufbereitete Material zur jeweiligen Be- oder Verarbeitung bringen, müssen im Bereich der Ausgangs- und Eingangskontrolle registriert und aufgenommen werden. Dies erfolgt über Verwiegung der Massenströme an einer im Eingangsbereich situierten Brückenwaage. Die hier aufgezeichneten Massenströme werden unter Zuordnung des jeweiligen Lieferanten bzw. des jeweiligen nachfolgenden Behandlungs- oder Verwertungsweges erfasst. Über diese Eingangs- und Ausgangskontrolle wird auch das Material- und Logistikmanagement für den jeweiligen Standort abgewickelt.

- **Modul 2 - Flachbunker**

Die registrierten Fahrzeuge gelangen über das Einfahrtstor der Halle in den Lagerbereich. Hier werden die Materialien abgekippt und bei Bedarf manuell und maschinell vorsortiert. Die Massenanteile, die für die weitere Behandlung an der Anlage nicht geeignet sind, werden in einem eigenen Restabfallcontainer zwischengelagert und entsprechend entsorgt. Der andere Stoffstrom wird über ein mobiles Gerät im Modul 3 entweder der Vorzerkleinerung oder direkt der Aufgabe zur Vorbehandlung zugeführt.

Im Vorlagerbereich werden generell drei verschiedene Abfallströme zwischengelagert:

- Restmüll aus dem Haushaltsbereich
- Gewerbemüll und
- Sperrmüll

Restmüll wird entgegen den beiden anderen Abfallströmen nach der Vorlagerung direkt mittels eines mobilen Gerätes auf die Aufbereitungsanlage aufgegeben. Die Vorlagerung von Gewerbemüll und Sperrmüll hat vor der Aufgabe auf die nachgeschalteten maschinentechnischen Ausstattungen eine sogenannte Vorsortierung zu beinhalten. Bei der Vorsortierung werden Störstoffe, die einerseits nicht anlagengängig sind für die Aufgabe in den Modul 3 aus dem Massenstrom herausgenommen, bzw. allenfalls beinhaltende Störstoffe, welche nicht für eine weitere Behandlung an der Anlage geeignet sind, herausgenommen und entfernt.

Die Vorsortierung im Flachbunkerbereich kann entweder

- manuell (Sortierpersonal)
- maschinell (Bagger, Greiferbagger, etc.)

erfolgen.

Die Art der Vorsortierung ist einerseits von der Größe der zu entfernenden Einzelteile, bzw. der jeweiligen technischen Ausstattung an der Anlage abhängig.

- **Modul 3 - Vorzerkleinerung**

An der Schnittstelle Flachbunker und Störstoffentfrachtung ist ein Vorzerkleinerungsgerät situiert. Dieser Vorzerkleinerer dient dazu, allenfalls im Massenstrom vorhandene Störstoffe, welche aufgrund ihrer körperlichen Ausdehnung nicht anlagengängig sind, auf eine anlagengängige Stückgröße zu zerkleinern. Die Beschickung erfolgt über mobile Geräte aus dem Flachbunkerbereich. Die Materialien werden direkt vom Vorzerkleinerer auf das Aufgabeförderband der Vorbehandlungsanlage gebracht. Die Vorzerkleinerung kann nicht nur über die klassische Methode der Zerkleinerungsanlagen erfolgen sondern auch über diverse andere Arbeitsschritte durchgeführt werden. Diese sind nachstehend kurz angeführt und können gegebenenfalls auch als ausreichend angesehen werden

- manuell über Demontage von zusammengebauten Teilen durch das Bedienungspersonal
- einfache Zerkleinerung mittels Hydraulikzange am Baggergreifer
- maschinelle Zerkleinerung über Sperrmüllschere

- **Modul 4 - Siebstufe**

Das im Modul 3 vorzerkleinerte Material wird über ein Aufgabeförderband einem Siebaggregat zugeführt. Hier werden die Materialien mit einer Körnung kleiner 60 – 80 mm abgeschieden und die entstehenden zwei Abfallfraktionen getrennt voneinander weiterbehandelt.

Der Siebüberlauf gelangt in die Qualitätssicherung des Moduls 5 und anschließend wie der Siebdurchgang in die Schwer/Leicht-Trenneinheit des Moduls 6.

- **Modul 5 - Qualitätssicherung**

Die vorgesehteten Materialenströme werden über ein Förderband einer sogenannten Kontrollrichtung zur Qualitätssicherung zugeführt. Diese erfolgt über ein Sortierförderband in einer sogenannten Sortierbühne, d.h. das Sortierförderband gelangt in einem komplett umhausten Raum, in dem das Bedienungspersonal diese Kontrollarbeiten durchführt. Allenfalls beinhaltende Störstoffe werden in einen Container abgeworfen bzw. gefährliche Abfälle in einen geeigneten Zwischenlagerbehälter auf der Sortierbühne verbracht.

Die so aus dem Massenstrom entfernten Materialien werden anschließend einer entsprechenden Entsorgungsschiene zugeführt.

Bei der Aufbereitung von Hausmüll wird dieser Arbeitsschritt nicht ausgeführt, da in diesem Massenstrom einerseits das Störstoffpotential von nicht anlagengängigen Materialien sehr gering bzw. der manuelle Eingriff durch entsprechende gesetzliche Vorgaben zur Zeit nur eingeschränkt, wenn überhaupt möglich ist.

- **Modul 6a - Schwer/Leicht- Trennung (mit Kontrollrichtung)**

Der ankommende Materialenstrom wird über ein Aufgabeförderband einer sogenannten Schwer/Leichttrennung zugeführt. Die aus diesem Trenngerät abgeschiedene Leichtfraktion wird in eine Auslaufgasse eines Förderbandes des nachgeschalteten Moduls abgeworfen.

Die Schwer- und Siebfraktion wird über ein Förderband abgezogen und in einen Container ausgetragen.

- **Modul 6b - Schwer/Leicht- Trennung**

Der ankommende Materialenstrom wird über ein Aufgabeförderband einer sogenannten Schwer/Leichttrennung zugeführt. Die aus diesem Trenngerät abgeschiedene Leichtfraktion wird in eine Auslaufgasse eines Förderbandes des nachgeschalteten Moduls abgeworfen. Die Schwer- und Siebfraktion wird über ein Förderband abgezogen und in einen Container ausgetragen.

- **Modul 7a - FE-Abscheidung**

Aus der Schwer-/Leichttrenneinheit ausgetragenen Leichtfraktion werden die eisenhaltige Bestandteile abgezogen. Diese werden direkt über eine Austraggasse in einen

Container abgeworfen. Die verbleibende Leichtfraktion wird über ein Abzugsförderband dem Modul 8a zugeführt.

- **Modul 7b - FE-Abscheidung**

Aus der Schwer-/Leichttrenneinheit ausgetragenen Leichtfraktion werden die eisenhaltige Bestandteile abgezogen. Diese werden direkt über eine Austraggasse in einen Container abgeworfen. Die verbleibende Leichtfraktion wird über ein Abzugsförderband dem Modul 8b zugeführt.

- **Modul 8a - NE-Metallabscheidung**

Der NE-Metallabscheider dient zur Abtrennung von NE-Metallen aus dem Massenstrom. Der NE-Metallabscheider kann nur im Anschluss an einem normalen FE-Metallabscheider eingesetzt werden. Der weitgehend von den FE-Anteilen befreite Massenstrom wird kontinuierlich auf eine Schwingförderrinne bzw. einem Vergleichmäßigungsgerät aufgegeben. Von diesem Gerät wird das Material gleichmäßig auf den Metallabscheider aufgebracht. Der NE-Metallabscheider funktioniert auf dem Prinzip der Wirbelstromtrennung. Dabei wird ein magnetisches Wechselfeld mittels eines Permanentmagnetsystems erzeugt und die NE-Metalle selektiv aus der Abwurfparabel des sonstigen Materialienstroms ausgeschieden. Der NE-Metallabscheider trennt somit in eine NE-Metallfraktion und eine Restfraktion. Die Restfraktion wird auf ein Förderband abgeworfen und entsprechend der sonstigen Verarbeitungsschiene weiter bearbeitet. Die NE-Metalle werden in einem Container gesammelt.

- **Modul 8b - NE-Metallabscheidung**

Der NE-Metallabscheider dient zur Abtrennung von NE-Metallen aus dem Massenstrom. Der NE-Metallabscheider kann nur im Anschluss an einem normalen FE-Metallabscheider eingesetzt werden. Die weitgehend von den FE-Anteilen befreite Massenstrom wird kontinuierlich auf eine Schwingförderrinne bzw. einem Vergleichmäßigungsgerät aufgegeben. Von diesem Gerät wird das Material gleichmäßig auf die Metallabscheider aufgebracht. Der NE-Metallabscheider funktioniert auf dem Prinzip der Wirbelstromtrennung. Dabei wird ein magnetisches Wechselfeld mittels eines Permanentmagnetsystems erzeugt und die NE-Metalle selektiv aus der Abwurfparabel des sonstigen Materialienstroms ausgeschieden. Der NE-Metallabscheider trennt somit in eine NE-Metallfraktion und eine Restfraktion. Die Restfraktion wird auf ein Förderband abgeworfen und entsprechend der sonstigen

Verarbeitungsschiene weiter bearbeitet. Die NE-Metalle werden in einem Container gesammelt.

- **Modul 9 - Nachzerkleinerung**

Der aufbereitete Siebüberlauf aus dem Modul 8a gelangt in eine Zerkleinerungsanlage mit nachgeschalteter Siebstufe. Über diese Siebstufe wird die nachgeschaltete Korngröße exakt definiert. Das Material wird über ein Austragförderband dem Sammelband des Moduls 10a - Transportkonditionierung zugeführt.

- **Modul 10a - Transportkonditionierung**

Die Fraktion, welche aus dem Modul 9 Nachzerkleinerung ausgetragen wird, wird über ein Sammelförderband und einem Steigförderband einer Maschine für die Transportvorbereitung zugeführt. Die Transportvorbereitung ist abhängig von den Übergabe- und Annahmebedingungen der Aufbereitungsanlage bzw. den bestehenden Einrichtungen beim Regionalpartner. Generell kann die Anlieferung an die Aufbereitungsanlage, wie folgt, durchgeführt werden:

- Lose im Container, welcher entweder per Bahn oder per LKW angeliefert wird, per Bahn muss der Container mittels eines herkömmlichen Hakenfahrzeuges zu manipulieren sein.
- In Presscontainer per Bahn oder per LKW. Per Bahn muss der Presscontainer mit einem herkömmlichen Hakenfahrzeug manipuliert werden können.
- Verpresst in Ballen. Per Bahn oder per LKW, die Entnahme der Ballen muss mit einem herkömmlichen Stapler ausgerüstet mit Ballenklammer auf eine max. Tiefe von 3 m erfolgen können.

In der nachstehenden Beschreibung wird von der Variante der Transportvorbereitung mittels Ballenpresse zu Ballen ausgegangen. Die Ballenpresse verpresst den Massenstrom auf eine für den nachfolgenden Transport optimale Ballengröße. Über eine Austragrutsche werden die Ballen in einen Wartebereich ausgeschoben. Vom Wartebereich werden die Ballen mittels eines Staplers aufgenommen und in vorgesehene Lagerbereiche verbracht. Aus den Lagerbereichen, welche max. eine Materialienzwischenlagerung von 1 Woche entsprechen, werden die Ballen mittels Stapler auf bereitgestellte Transportfahrzeuge verladen und gelangen anschließend wieder auf die Brückenwaage im Modul 1.

- **Modul 10b - Transportkonditionierung**

Die Fraktion < 80 mm, welche aus dem Modul 8b NE-Abscheidung ausgetragen wird, wird über ein Sammelförderband und einem Steigförderband einer Maschine für die Transportvorbereitung zugeführt. Die Transportvorbereitung ist abhängig von den Übergabe- und Annahmebedingungen der Aufbereitungsanlage bzw. den bestehenden Einrichtungen beim Regionalpartner.

Generell kann die Anlieferung an die Aufbereitungsanlage, wie folgt, durchgeführt werden:

- Lose im Container, welcher entweder per Bahn oder per LKW angeliefert wird, per Bahn muss der Container mittels eines herkömmlichen Hakenfahrzeuges zu manipulieren sein.
- In Presscontainer per Bahn oder per LKW. Per Bahn muss der Presscontainer mit einem herkömmlichen Hakenfahrzeug manipuliert werden können.
- Verpresst in Ballen. Per Bahn oder per LKW, die Entnahme der Ballen muss mit einem herkömmlichen Stapler ausgerüstet mit Ballenklammer auf eine max. Tiefe von 3 m erfolgen können.

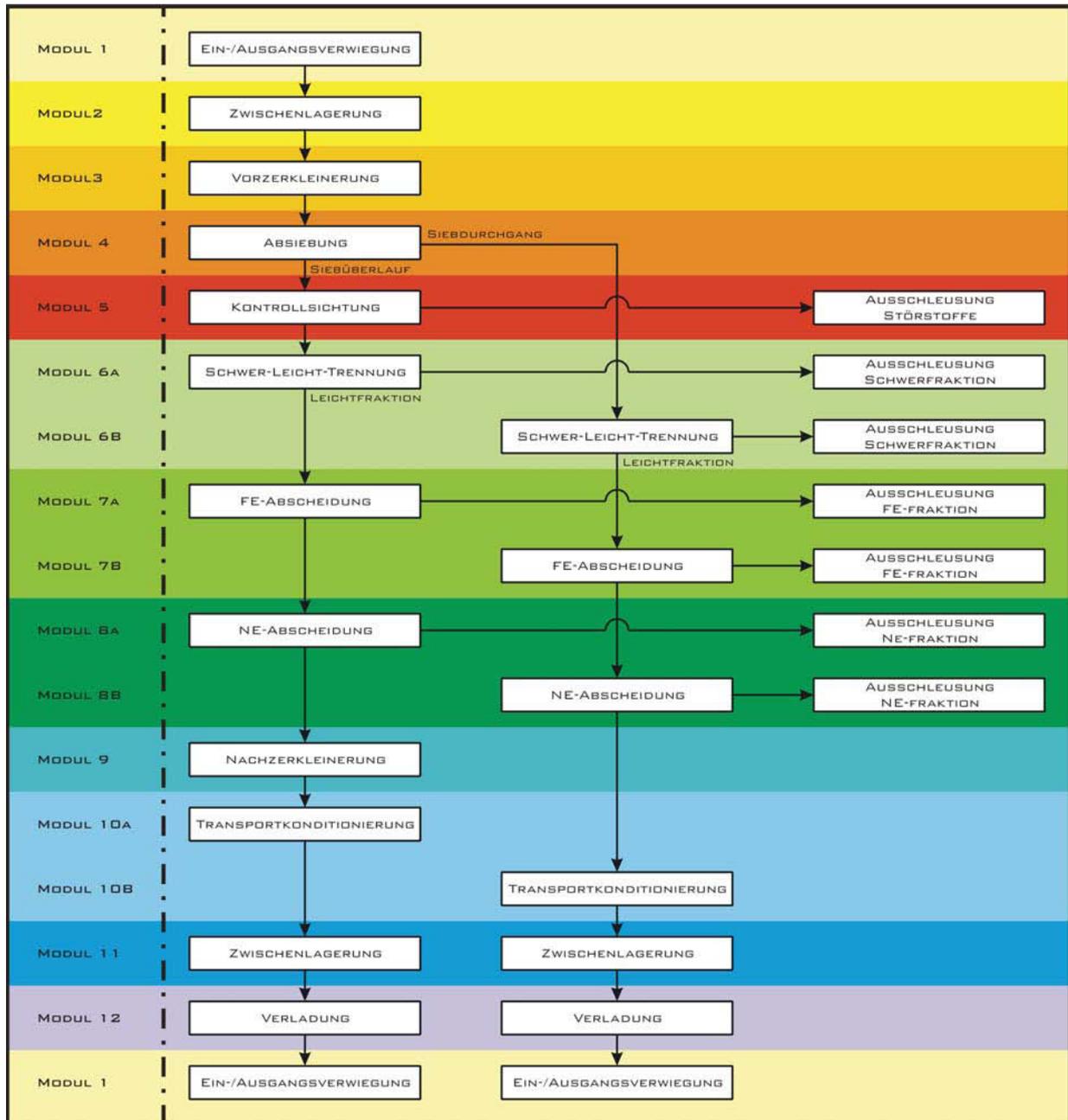
In der nachstehenden Beschreibung wird von der Variante der Transportvorbereitung mittels Ballenpresse zu Ballen ausgegangen. Die Ballenpresse verpresst den Massenstrom auf eine für den nachfolgenden Transport optimale Ballengröße. Über eine Austragrutsche werden die Ballen in einen Wartebereich ausgeschoben. Vom Wartebereich werden die Ballen mittels eines Staplers aufgenommen und in vorgesehene Lagerbereiche verbracht. Aus den Lagerbereichen, welche max. eine Materialienzwischenlagerung von 1 Woche entsprechen, werden die Ballen mittels Stapler auf beigestellte Transportfahrzeuge verladen und gelangen anschließend wieder auf die Brückenwaage im Modul 1.

- **Modul 11 - Zwischenlagerung**

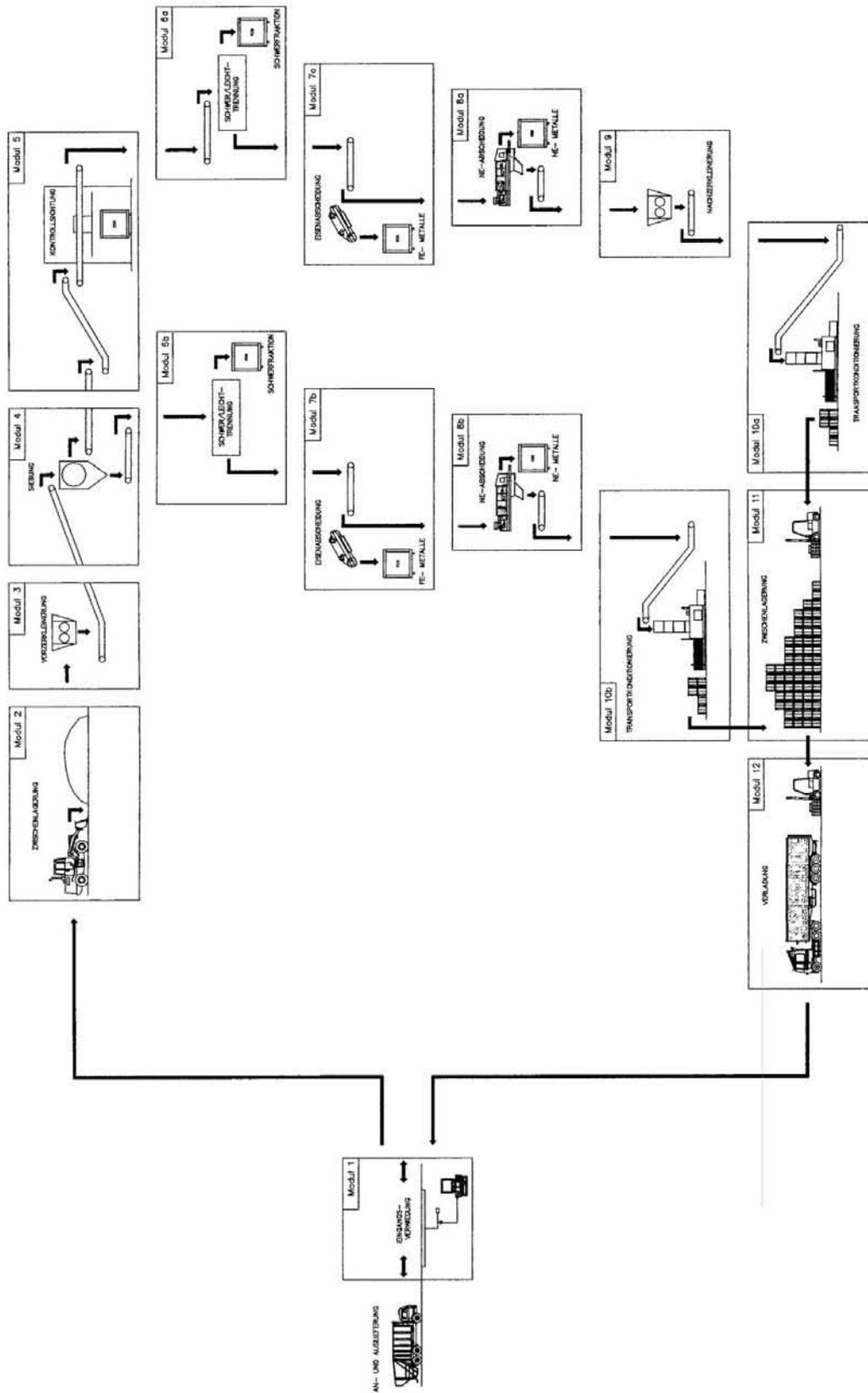
Für die Zwischenlagerung von Material mit einer Zwischenlagerkapazität von mehr als einer Woche ist ein eigener Lagerplatz zu errichten. Das Zwischenlager dient dazu, allenfalls auftretende Abnahmeschwankungen, welche durch das zentrale Lager nicht aufgefangen werden können, auszugleichen. Für die Zwischenlagerung ist ein Flugdachbereich vorzusehen. Der Boden im Flugdachbereich ist entsprechend den gesetzlichen Rahmenbedingungen dicht auszubilden.

• **Modul 12 - Verladung**

Für die Verladung ist ein Aufstellplatz der zu beschickenden Fahrzeuge sowie der Manipulationsbereich des Flurförderfahrzeuges vorzusehen. Dazu ist ein Bereich des Flugdaches aus dem Modul 11 zu adaptieren.



Anhang-Abb. 30: Modulares EBS-Produktionssystem



Anhang-Abb. 31: Aufbau des modularen Produktionsmodells für EBS

VII. Abfallwirtschaftliche Relevanz des HOTDISC-EBS

A. Energetische Bewertung

In diesem Kapitel werden die gesammelten Daten zusammenfassend dargestellt und daraus die Daten, welche die Grundlage für die Bilanzierung bilden, berechnet. Bei einigen Werten wird darauf hingewiesen, dass es sich um Literaturdaten handelt. Bei der verwendeten Literatur handelt es sich um H. F. W. Taylor.

1. Sammlung

Für die Bewertung der Sammlung wurden die auf den verschiedenen Sammeltouren zurückgelegten Entfernungen erhoben und gemittelt. Unter Berücksichtigung der Beladung und des Kraftstoffverbrauchs wurde der Energieaufwand berechnet.¹

Anhang-Tab. 47: Berechnung des Energieaufwandes für den Bereich Sammlung

Energieinhalt Diesel: 9,70 kWh/l entspricht 34.920,00 kJ/l			
GM Graz-Umgebung			
Tour	Strecke [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]
Tour 1	240,00	44,00	9,50
Tour 2	245,00	44,00	11,00
Tour 3	180,00	44,00	10,00
Durchschnitt	221,67	44,00	10,17
Energieaufwand	335,00 kJ/kg		
GM Graz-Stadt			
Tour	Strecke [km]	Verbrauch [l/100 km]	Beladung [t]
Tour 1	80,00	70,00	10,00
Tour 2	60,00	70,00	10,00
Tour 3	80,00	70,00	9,00
Durchschnitt	73,33	70,00	9,67

¹ Die Daten für die Sammlung basieren auf Auskünften des Disponenten Hr. Suppan für eine vorherige Arbeit (T. Maier (2006): Klimaschutzbeitrag der SDAG)

Energieaufwand	185,44 kJ/kg
∅ Energieaufwand gewichtet	250 kJ/kg
Sammlung	Stadt : Umgebung = 4 : 3

Berechnungsbeispiel:

$$\frac{221,67 \text{ [km]} \times 44 \text{ [l/100km]} \times 34.920 \text{ [kJ/l]}}{100 \times 1.000 \text{ [kg/t]} \times 10,17 \text{ [t]}} = 335 \text{ [kJ/kg]}$$

Dieser Energieaufwand ist allerdings auf die Sammlung aller Fraktionen des Gewerbemülls zusammen bezogen. In diesem Fall ist aber nur der energetische Aufwand für die Sammlung des Materials, welches später im Zementwerk eingesetzt wird, von Interesse. Deshalb muss der oben berechnete Wert noch über die prozentuelle Verteilung der Fraktionen bei der Aufbereitung in der Splittinganlage umgerechnet werden.

Anhang-Tab. 48: Berücksichtigung der prozentuellen Verteilung der Fraktionen

Fraktion	Wert
HOTDISC-Fraktion	67 % ¹
Energieaufwand gesamt	250 kJ/kg
Energieaufwand HOTDISC-Fraktion	167,5 kJ/kg

Rechengang:

$$0,67 \times 250 \text{ [kJ/kg]} = 167,5 \text{ [kJ/kg]}$$

¹ Als Anteil des HD-EBS wurde in der Berechnung mit 67 % ein hoher Wert angenommen. Er stellt den max. möglichen Anteil an HD-EBS dar. Der Einfluss dieser Annahme auf das Ergebnis ist allerdings gering.

2. Aufbereitung

Über den prozentuellen Anteil, den die HOTDISC-Fraktion am gesamten Splittingmaterial einnimmt, wird der Energieaufwand für die Aufbereitung des Materials berechnet.¹

Anhang-Tab. 49: Berechnung des Energieaufwandes für die Aufbereitung des HOTDISC-EBS

Fraktion	Wert
HOTDISC-EBS	67 %
Energieaufwand Splitting gesamt	5,9 kWh/t = 21,24 kJ/kg
Energieaufwand Splitting HOTDISC-EBS	14,23 kJ/kg

Rechengang:

$$0,67 \times 21,24 \text{ [kJ/kg]} = 14,23 \text{ [kJ/kg]}$$

3. Transport

Um Aussagen über den Energieverbrauch für den Transport treffen zu können, benötigt man Angaben über die zurückgelegte Strecke, den Kraftstoffverbrauch des LKW und die Beladung.²

¹ Die notwendigen Daten für die Bewertung der Aufbereitung (Energieverbrauch und Durchsatz der Anlage, prozentuelle Verteilung der Outputfraktionen) wurden von Produktionsmanager Hr. Mag. Stoirer zur Verfügung gestellt.

² Die Daten bezüglich der Beladung der LKWs basieren auf Auskünften des Zentrallogistikers Hr. Lechner). Die zurückgelegte Strecke von der Splittinganlage zum Zementwerk Rohoznik wurde mit Hilfe des Routenplaners map24 (<http://www.at.map24.com>) berechnet. Der Treibstoffverbrauch basiert auf den Angaben des Disponenten Hr. Suppan.

Anhang-Tab. 50: Berechnung des Energieaufwandes für den Bereich Transport

Energieinhalt Diesel		9,7 kWh/l entspricht 34.920 kJ/l		
Strecke	Entfernung	Verbrauch	Beladung	Energieaufwand
Wien – Rohoznik – Wien	226 km	37 l/100 km	23 t	127 kJ/kg

Rechengang:

$$\frac{226 \text{ [km]} \times 37 \text{ [l/100km]} \times 34.920 \text{ [kJ/l]}}{100 \times 1.000 \text{ [kg/t]} \times 23 \text{ [t]}} = 126,96 \text{ [kJ/kg]}$$

4. Verwertung

Im Zementwerk Rohoznik wird der angelieferte HOTDISC-EBS in der HOTDISC, also vor dem Drehrohrofen, verbrannt. Um eine Bilanzierung über die Verwertung durchführen zu können, ist es vorerst wichtig den Heizwert des HOTDISC-EBS zu kennen. Der Heizwert des HOTDISC-EBS beträgt 14.000 kJ/kg.

Des Weiteren werden Informationen über den Verbleib der Energie im Zementwerk benötigt. Hierbei wird zum Einen die Energie zur Produktion des Klinkers verwendet, also chemisch in diesen gebunden, zum Anderen treten aber auch einige energetische Verluste im Zementwerk auf, welche Berücksichtigung finden müssen.

- **Produktion des Zements**

Aus Literaturdaten kennt man den theoretischen Energiebedarf für die Klinkerreaktionen. Die Reaktionen und ihre Enthalpien sind nachstehender Tabelle zu entnehmen.

Anhang-Tab. 51: Reaktionen und zugehörige Enthalpien der Klinkerproduktion

Reaktion¹	Enthalpie [kJ]
-----------------------------	-----------------------

¹ A = Al₂O₃, S = SiO₂, H = H₂O, C = CaO, F = Fe₂O₃

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	2.138
$\text{AS}_4\text{H} \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + 4 \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O (g)}$	34
$\text{AS}_2\text{H}_2 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{SiO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O (g)}$	21
$2 \text{FeOOH} \rightarrow \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O (g)}$	9
$3 \text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{C}_3\text{S}$	- 333
$2 \text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \beta\text{-C}_2\text{S}$	- 98
$3 \text{CaO} + \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_3\text{A}$	- 3
$6 \text{CaO} + 2 \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 + \alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{C}_6\text{A}_2\text{F}$	- 7
Summe (kJ/kg Klinker)	1.761

Aus den vom Zementwerk Rohoznik bereitgestellten Daten lässt sich der in der Tabelle dargestellte Energiebedarf für die Produktion eines Kilogramms Klinker berechnen. Die Differenz zum oben berechneten theoretischen Energiebedarf zur Produktion eines Kilogramms Klinker ist durch verschiedene Verluste zu begründen.

Anhang-Tab. 52: Berechnung der Verluste zwischen tatsächlichen und theoretischen Energiebedarf

Zufeuerung	[t/h]	[GJ/t]	[GJ/h]
Kohle	9,5	29,0	275,5
TAP (Sägespäne mit Öl)	3,5	16,0	56,0
Petcoke	2,9	33,0	95,7
HOTDISC-EBS	6,0	15,0	90,0
Summe	21,9	93,0	517,2
Produktion Klinker	150 [t/h]		
tatsächlicher Energiebedarf	3.448 kJ/kg Klinker		
theoretischer Energiebedarf	1.761 kJ/kg Klinker		
Differenz (= Verluste)	1.687 kJ/kg Klinker		

Rechengang:

$$9,5 \text{ [t/h]} \times 29 \text{ [GJ/t]} = 275,5 \text{ [GJ/h]}$$

$$\frac{517,2 \text{ [GJ/h]}}{150 \text{ [t/h]}} = 3,448 \text{ [GJ/t]} = 3448 \text{ [MJ/t]} = 3.448 \text{ [kJ/kg]}$$

- **Verluste bei der Zementherstellung**

Bei der Herstellung von Zement geht Energie auf verschiedenen Wegen in Form von Wärme verloren:

- Verluste durch Restwärme des Klinkers
- Energieaufwand zur Trocknung des Rohmehls
- Wärmeverluste im Rauchgas und durch Kühlluft im Klinker-Cooler
- Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion

So weit als möglich werden die einzelnen Verluste aus den vorliegenden Daten errechnet, ansonsten werden sie mit den aus der Literatur gewonnenen Daten abgeglichen.

- **Verluste durch Restwärme des Klinkers**

Die Temperatur des Klinkers am Ausgang des Drehrohrofens beträgt in etwa 1.300 °C. Diese Wärme wird großteils zum Erwärmen der Verbrennungsluft genutzt. Allerdings hat der Klinker nach der Kühlung noch immer eine höhere Temperatur als die Umgebung, was zu Verlusten führt.

In der Literatur findet man Angaben über die Klinkertemperatur und auch über die spezifische Wärmekapazität des Zements, welche mit der des Klinkers übereinstimmt, woraus der Verlust berechnet werden kann. Der hierbei errechnete Wert stimmt auch relativ genau mit den Angaben des Zementwerks überein.

Anhang-Tab. 53: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit jenen der Literatur bezüglich des Verlusts der Klinkertemperatur

Nach Angaben des Zementwerks	
Verlust durch Klinkertemperatur	3 %
	104 kJ/kg Klinker
Nach Literatur	

Klinkertemperatur	140 °C
Umgebungstemperatur	20 °C
spez. Wärmekap. Klinker cp	0,754 kJ/kg Klinker
Verlust durch Klinkertemperatur	90 kJ/kg Klinker
Verlust für Bilanz	90 kJ/kg Klinker

Rechengang:

- $0,03 \times 3.448 \text{ [kJ/kg Klinker]} = 104 \text{ [kJ/kg Klinker]}$
- $\Delta H = m \times cp \times \Delta T$

$$\Delta H = 1 \text{ [kg]} \times 0,754 \text{ [kJ/kg Klinker]} \times (413,15 - 293,15) \text{ [Klinker]}$$

$$\Delta H = 90 \text{ kJ/kg Klinker}$$

Da die Angaben des Zementwerks bezüglich der Verluste in Prozent und dadurch nicht mit größter Genauigkeit vorliegen, wird für die Bilanz der auf den Literaturdaten basierende Rechenwert verwendet.

• **Energieaufwand zur Trocknung des Rohmehls**

Abhängig von der Rohmehlfeuchte muss ein gewisser Energieaufwand betrieben werden, um das in den Rohstoffen vorhandene Wasser zu verdampfen.

Es liegen sowohl aus der Literatur als auch vom Zementwerk (allerdings wiederum nur prozentuelle) Angaben über den Energiebedarf zur Trocknung des Rohmehls vor. Da die Verdampfungsenthalpie des Wassers bekannt ist, wird aus beiden Werten auf die Rohstofffeuchte rückgerechnet und der als plausibler erscheinende Wert für die Bilanz herangezogen.

Anhang-Tab. 54: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit den Werten in der Literatur bezüglich des Energieaufwandes zur Trocknung des Rohmehls

Verdampfungsenthalpie des Wassers	2.452 kJ/kg H ₂ O
Nach Angaben des Zementwerks	

Verdampfung der Wassergehaltes	3 %
	104 kJ/kg Klinker
errechnete Rohstofffeuchte	4,2 %
Nach Literatur	
Verdampfung des Wassergehaltes	10 kJ/kg Klinker
errechnete Rohstofffeuchte	0,4 %
Verlust für Bilanz	104 kJ/kg Klinker

Berechnungsbeispiel:

r = Rohstofffeuchte

$r \text{ [kg H}_2\text{O/kg Klinker]} \times 2.452 \text{ [kJ/kg H}_2\text{O]} = 104 \text{ [kJ/kg Klinker]}$

$$r = \frac{104 \text{ [kJ/kg Klinker]}}{2.452 \text{ [kJ/kg H}_2\text{O]}} = 0,042 \text{ [kg H}_2\text{O/kg Klinker]}$$

r = 4,2 %

In deutschen Zementwerken geht man von einer durchschnittlichen Rohstofffeuchte von 8 % aus. Aufgrund der errechneten Rohstofffeuchte und des Vergleichs dieser mit dem vorher erwähnten Wert, wird für die weitere Bilanz der nach den Angaben des Zementwerkes berechnete Wert verwendet.

- **Wärmeverluste im Rauchgas und durch Kühlluft im Klinker-Kühler**

Das Abgas des Drehrohrofens wird zwar zur Vorwärmung der Rohstoffe verwendet, doch hat es beim Austritt aus dem Kamin noch immer eine höhere Temperatur als die Umgebung. Auch der größte Teil der aufgeheizten Kühlluft wird genutzt, und zwar als Verbrennungsluft im Ofen (= Sekundärluft) und im Calcinator (= Tertiärluft). Die überschüssige Luftmenge wird allerdings als Kühlerabluft abgeleitet. Aus diesen Gründen treten in diesen Bereichen Verluste auf.

Anhang-Tab. 55: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit den Werten in der Literatur bezüglich der Wärmeverluste im Rauchgas und durch Kühlluft im Klinker-Kühler

Nach Angaben des Zementwerks		
Verluste durch Gastemperaturen	25	%
	862	kJ/kg Klinker
Nach Literatur		
Verluste Rauchgas	623	kJ/kg Klinker
Verluste Kühlluft Klinker-Kühler	427	kJ/kg Klinker
Summe	1.050	kJ/kg Klinker
Verlust für Bilanz	862	kJ/kg Klinker

Rechengang:

$$0,25 \times 3.448 \text{ [kJ/kg Klinker]} = 862 \text{ [kJ/kg Klinker]}$$

Da laut Angaben des Zementwerkes die Rauchgastemperatur beim Austritt aus dem Kamin 105 °C beträgt, die Literaturwerte jedoch auf einer weitaus höheren Rauchgastemperatur basieren (140 °C), wird der aus den prozentuellen Angaben des Zementwerkes errechnete Wert für die Bilanzierung eingesetzt.

- **Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion**

Aufgrund der nicht vorhandenen Isolierung des Drehrohrofens kommt es in diesem Bereich zu Verlusten durch Strahlung und Konvektion über die Wände.

Anhang-Tab. 56: Vergleich der Angaben des Zementwerks mit den Werten in der Literatur bezüglich der Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion

Nach Angaben des Zementwerks		
Verluste durch Strahlung/Konvektion	25	%
	862	kJ/kg Klinker
Nach Literatur		

Verluste durch Strahlung/Konvektion	348	kJ/kg Klinker
Verlust für Bilanz	631	kJ/kg Klinker

Rechengang:

$$1.687 - 90 - 104 - 862 = 631 \text{ [kJ/kg Klinker]}$$

Da der Gesamtbetrag der Verluste bekannt ist und die prozentuellen Angaben für die Verluste auf den Werten des alten Drehrohrofens des Zementwerkes Rohoznik beruhen, wurde in diesem Bereich der Wert für den Verlust korrigiert, damit die Summe aller Verluste mit dem errechneten Gesamtbetrag übereinstimmt.

Es schien sinnvoll zu sein, eine Korrektur in diesem Bereich der Verluste durchzuführen, da aufgrund der neuen Ofenanlage sicher in diesem Bereich die größten Verbesserungen erzielt werden konnten.

B. Prozentueller Bezug auf das HOTDISC-EBS

Da nicht die ganze Energie zur Erzeugung des Klinkers vom HOTDISC-EBS bereit gestellt wird, sondern auch andere Brennstoffe eingesetzt werden, muss der prozentuelle Anteil der vom HOTDISC-EBS bereitgestellten Energie in die Bilanzierung mit einberechnet werden.

Anhang-Tab. 57: Anteil des HOTDISC-EBS an der gesamten Zufeuerung

Zufeuerung gesamt	517	GJ/h
Zufeuerung HOTDISC-EBS	90	GJ/h
Anteil HOTDISC-EBS	17	%

Rechengang:

$$\frac{90 \text{ [GJ/h]}}{517 \text{ [GJ/h]}} = 0,17 = 17 \%$$

Es werden also 17 % der Energie, welche zur Produktion von Klinker, inklusive aller Verluste, nötig ist, vom HOTDISC-EBS geliefert. Daraus lässt sich die tatsächliche Energie, die von diesem Brennstoff kommt, für die Produktion eines Kilogramms Klinker berechnen.

Anhang-Tab. 58: Errechnung der tatsächlichen Energie, die vom HOTDISC-EBS kommt

Energiebedarf	3.448	kJ/kg Klinker
Anteil HOTDISC-EBS [%]	17	%
Anteil HOTDISC-EBS [kJ]	586,16	kJ/kg Klinker
Heizwert HOTDISC-EBS	14.000	kJ/kg
vorher bereits aufgewendete Energie	308,7	kJ/kg
zur Verfügung gestellte Energie netto	13.691,3	kJ/kg
Klinkerproduktion/kg HOTDISC-EBS	23,36	kg Klinker/kg HOTDISC-EBS

Rechengang:

$$[\text{kJ/kg Klinker}] \times 0,17 = 586,16 \text{ [kJ/kg Klinker]}$$

$$\frac{14.000 \text{ [kJ/kg HD -EBS]} - (167,5 + 127 + 14,2)}{586 \text{ [kJ/kg Klinker]}} = 23,36 \text{ [kg Klinker/kg HD -EBS]}$$

C. CO₂-Emissionen der Teilprozesse

In den folgenden Kapiteln wird der CO₂-Ausstoß der Teilprozesse berechnet.

1. Sammlung

Bei der Sammlung ist der CO₂-Ausstoß aufgrund der Verbrennung von Kraftstoff, in unserem Fall Diesel, durch einen CO₂-Emissionsfaktor zu berücksichtigen.¹

Anhang-Tab. 59: Berücksichtigung des CO₂-Ausstoßes durch die Sammlung

CO ₂ -Ausstoß pro Liter			2612 g CO ₂ /l	
gefahrenere Strecke [km]	Kraftstoffverbrauch [l/100 km]	verbrauchter Kraftstoff [l]	Beladung [t]	Verbrauch je kg [l/kg]
137	59	80,83	10	0,008
CO ₂ -Ausstoß pro gesammelten kg Müll			21,11g CO ₂ /kg	
Anteil HOTDISC-EBS			67 %	
CO₂-Ausstoß pro kg HOTDISC-EBS			14,15 g CO₂/kg HOTDISC-EBS	

Rechengang:

$$\frac{137 \text{ [km]} \times 59 \text{ [l/100km]} \times 0,67 \times 2.612 \text{ [g CO}_2\text{/l]}}{100 \times 10 \text{ [t]} \times 1.000 \text{ [kg/t]}} = 14,15 \text{ [g CO}_2\text{/kg HD - EBS]}$$

2. Aufbereitung

Bei der Aufbereitung ist das CO₂ welches aufgrund des Verbrauchs von elektrischer Energie, bei deren Erzeugung CO₂ emittiert wird, beim Splitting anfällt zu berücksichtigen.²

¹ Der CO₂-Emissionsfaktor für Diesel stammt aus einer Umwelterklärung des Wasserwirtschaftsamtes Kempten (<http://www.wwa-kru.bayern.de/umwelterklaerung/pos070.htm>)

² Die Daten für den CO₂-Ausstoß pro kWh wurden von Univ. Prof. DI Dr. mont. Kepplinger persönlich mitgeteilt.

Anhang-Tab. 60: Berücksichtigung des CO₂-Ausstoßes durch die Aufbereitung

CO ₂ -Ausstoß pro kWh	500	g CO ₂ /kWh
Energieaufwand Splitting	5,9	kWh/t
Anteil HOTDISC-EBS	67	%
CO₂-Ausstoß pro kg HOTDISC-EBS	1,98	g CO₂/kg HOTDISC-EBS

Rechengang:

$$\frac{5,9 \text{ [kWh/t]} \times 0,67 \times 500 \text{ [g CO}_2\text{/kWh]}}{1.000 \text{ [kg/t]}} = 1,98 \text{ [g CO}_2\text{/kg HD - EBS]}$$

3. Transport

Wie bei der Sammlung muss auch beim Transport die aufgrund des Kraftstoffverbrauchs emittierte CO₂-Menge berücksichtigt werden.

Anhang-Tab. 61: Berücksichtigung des CO₂-Ausstoßes durch den Transport

CO ₂ -Ausstoß pro Liter		2.612 g CO ₂ /l		
gefährte Strecke [km]	Kraftstoffverbrauch [l/100 km]	verbrauchter Kraftstoff [l]	Beladung [t]	Verbrauch je kg [l/kg]
226	37	83,62	23	0,004
CO₂-Ausstoß pro kg HOTDISC-EBS		9,50 g CO₂/kg HOTDISC-EBS		

Rechengang:

$$\frac{226 \text{ [km]} \times 37 \text{ [l/100km]} \times 2.612 \text{ [g CO}_2\text{/l]}}{100 \times 23 \text{ [t]} \times 1.000 \text{ [kg/t]}} = 9,50 \text{ [g CO}_2\text{/kg HOTDISC - EBS]}$$

4. Verwertung

Bei der Verwertung soll das aus der Verbrennung des HOTDISC-EBS stammende CO₂ bilanziert werden. Dabei soll im Hinblick auf den CO₂-Zertifikathandel der Anteil, welcher bei der Oxidation von Kohlenstoff biogenen Ursprungs entsteht, separat erfasst werden.

Um Aussagen über den CO₂-Ausstoß pro kg HOTDISC-EBS treffen zu können sind die Analysendaten des Materials, vor allem der Kohlenstoffgehalt, notwendig.¹⁾

Anhang-Tab. 62: Analysenergebnisse des Kohlenstoffgehalts

Parameter	Einheit	Messwert
Kohlenstoff	% TS	34,1
Wassergehalt	%	15,55
Biogener C-Anteil	%	51,9
Molmasse Kohlenstoff	g/mol	12
Molmasse Kohlendioxid	g/mol	44

Zuerst muss der Kohlenstoffgehalt - mit Hilfe des Wassergehaltes - von [% TS] auf [%] umgerechnet werden.

$$\frac{34,1 \times (100 - 15,55)}{100} = 28,80 \text{ [\%] Kohlenstoffgehalt, entspricht } 0,288 \text{ [kg C/kg HOTDISK -EBS]}$$

Anschließend wird mit Hilfe des Parameters biogener C-Anteil zwischen biogenem und fossilem Kohlenstoff unterschieden.

$$0,288 \text{ [kg C/kg HOTDISC-EBS]} \times 0,519 \text{ [kg biogenes C/kg C]} = 0,149 \text{ [kg biogenes C/kg HOTDISC-EBS]}$$

$$0,288 \text{ [kg C/kg HOTDISC-EBS]} \times 0,481 \text{ [kg fossiles C/kg C]} = 0,139 \text{ [kg fossiles C/kg HOTDISC-EBS]}$$

Mit Hilfe der Molmassen von Kohlenstoff und Kohlendioxid können die aus der Verbrennung des im HOTDISC-EBS enthaltenen Kohlenstoffs resultierenden Kohlendioxid-Emissionen berechnet werden.

¹⁾ Die Analyseergebnisse lagen vom Labor der Montanuniversität Leoben vor.

$$\frac{0,149 \text{ [kg biog C/kg HOTDISC - EBS]} \times 44 \text{ [kg biog CO}_2\text{/kmol]}}{12 \text{ [kg biog C/kmol]}} = 0,548 \text{ [kg biog CO}_2\text{/kg HOTDISC - EBS]}$$

$$\frac{0,139 \text{ [kg foss C/kg HOTDISC - EBS]} \times 44 \text{ [kg foss CO}_2\text{/kmol]}}{12 \text{ [kg foss C/kmol]}} = 0,510 \text{ [kg foss CO}_2\text{/kg HOTDISC - EBS]}$$

D. Darstellung der Ergebnisse der CO₂-Bilanz

Abschließend sollen die Ergebnisse der einzelnen Bilanzierungsschritte der CO₂-Bilanz zusammengefasst werden. Dabei werden die gesamten Kohlendioxid-Emissionen auf dem Weg zur und bei der Verwertung selbst eines Kilogramms des HOTDISC-EBS ermittelt.

Anhang-Tab. 63: Ergebnisse der einzelnen Bilanzierungsschritte der CO₂-Bilanz

Position	Ursprung	Wert	Dimension
Sammlung		0,01415	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS
Aufbereitung		0,00198	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS
Transport		0,00950	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS
Verwertung	biogen	0,54800	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS
	fossil	0,51000	kg CO ₂ /kg HOTDISC-EBS
Summe		1,08363	kg CO₂/kg HOTDISC-EBS

Auffällig am Ergebnis der CO₂-Bilanz ist vor allem, dass knapp mehr als 50% der gesamten CO₂-Emissionen biogenen Ursprungs sind. Das Ergebnis ist grafisch im Sankey 2 dargestellt.

VIII. QUALITÄTSSICHERUNGSKONZEPT FÜR DIE SPLITTINGANLAGE WIEN

Qualitätssicherungskonzept für die Splittinganlage Wien



Auftraggeber: Saubermacher Dienstleistungs AG

Conrad von Hötzendorfstraße 162, 8010 Graz

Abteilung F&E

Hr. DI Roland POMBERGER

Erstellt von: DI Alex Curtis

Tel: 0043-(0)59800 Fax: DW 5003

Mobil: 0043-664-80598-5003

Email: a.curtis@saubermacher.at

KF&E

DI Alex. Curtis

11/04

Qualitätssicherungskonzept für die Splittinganlage Wien

Ziele:

- Darstellung eines Qualitätssicherungskonzeptes für die Splittinganlage Wien
- Darstellung des Ablaufes der Probenahme
- Darstellung der Probenaufbereitung
- Ermittlung der erforderlichen Parameter für repräsentative Proben

Es wurde festgelegt, dass pro Jahr jeweils zwei repräsentative Analysen für Bulk und Ballen durchgeführt werden sollen.

Diese sollen wissenschaftlich fundiert und möglichst repräsentativ durchgeführt werden.

Zusätzlich dazu werden von beiden Materialströmen Rückstellproben bereitgestellt, die bei Bedarf durch Holcim einer weiteren Untersuchung zugeführt werden können. Diese Rückstellproben sind Bulk und Ballen.

A. Beschreibung der Splittinganlage Wien

1. Ablauf Material–Annahme

Input –Material: Gewerbemüll

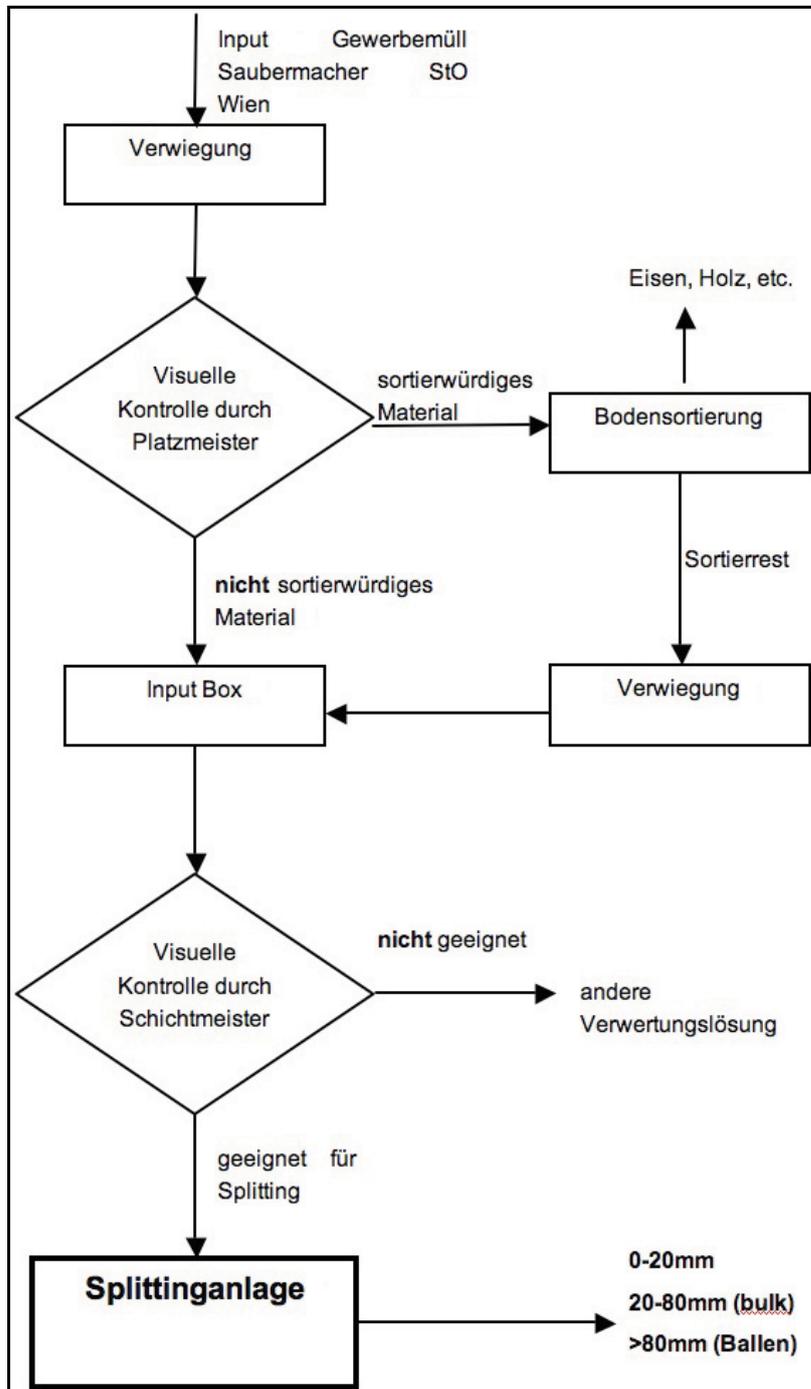
Jede Anlieferung wird verwogen.

Sortierwürdige Anlieferungen (visuelle Kontrolle) gelangen zunächst in die Sortierhalle und werden einer Bodensortierung unterzogen. Dabei werden Wertstoffe wie Holz, Eisen, Karton, etc. abgetrennt. Der Rest wird, sofern geeignet, in Container verladen, verwogen und im Inputlagerbereich der Splittinganlage abgekippt.

Nicht sortierwürdige Anlieferungen werden direkt im Inputlagerbereich der SPA abgekippt und von qualifiziertem Personal einer visuellen Kontrolle unterzogen. Entspricht das Material nicht den Qualitätsanforderungen (zu feucht, zu hoher biogener Anteil, zu hoher Inertanteil, zu viele Störstoffe, gefährliche Abfälle etc.) so wird es in Container verladen und abtransportiert.

Entspricht das Material den Qualitätsanforderungen so werden etwaige Störstoffe (Eisen, Steine,...) und gefährliche Abfälle manuell aussortiert somit kann das Material in der Anlage weiterverarbeitet werden.

Folgende Grafik zeigt den Materialfluss bei der Annahme:



Anhang-Abb. 32: Ablauf Material -Annahme

Maßnahmen zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen:

- Einschulung der Arbeiter
- Arbeitsanweisungen
- Interne und externe Audits

2. Beschreibung der Splitting –Anlage¹

Das zu behandelnde Material wird mittels Krangreifer auf ein Unterflurband aufgegeben. Bereits bei der Aufgabe wird darauf geachtet dass eine möglichst homogene Mischung entsteht. Ein Vorzerkleinerer (schneidendes System) zerkleinert das Material auf eine Korngröße von ca. 300mm. Das zerkleinerte Material gelangt über ein Förderband zur ersten Siebstufe (Flächensieb 80mm).

Über dem Abwurf des Förderbandes ins Sieb sitzt ein Magnetabscheider (in Förderrichtung) der den Materialstrom von Eisen befreit (Abscheidung ca. 90% der Fe-Fracht).

Das **Unterkorn < 80mm** gelangt weiter auf ein 20mm–Flächensieb wo der Feinanteil < 20 mm abgetrennt wird.

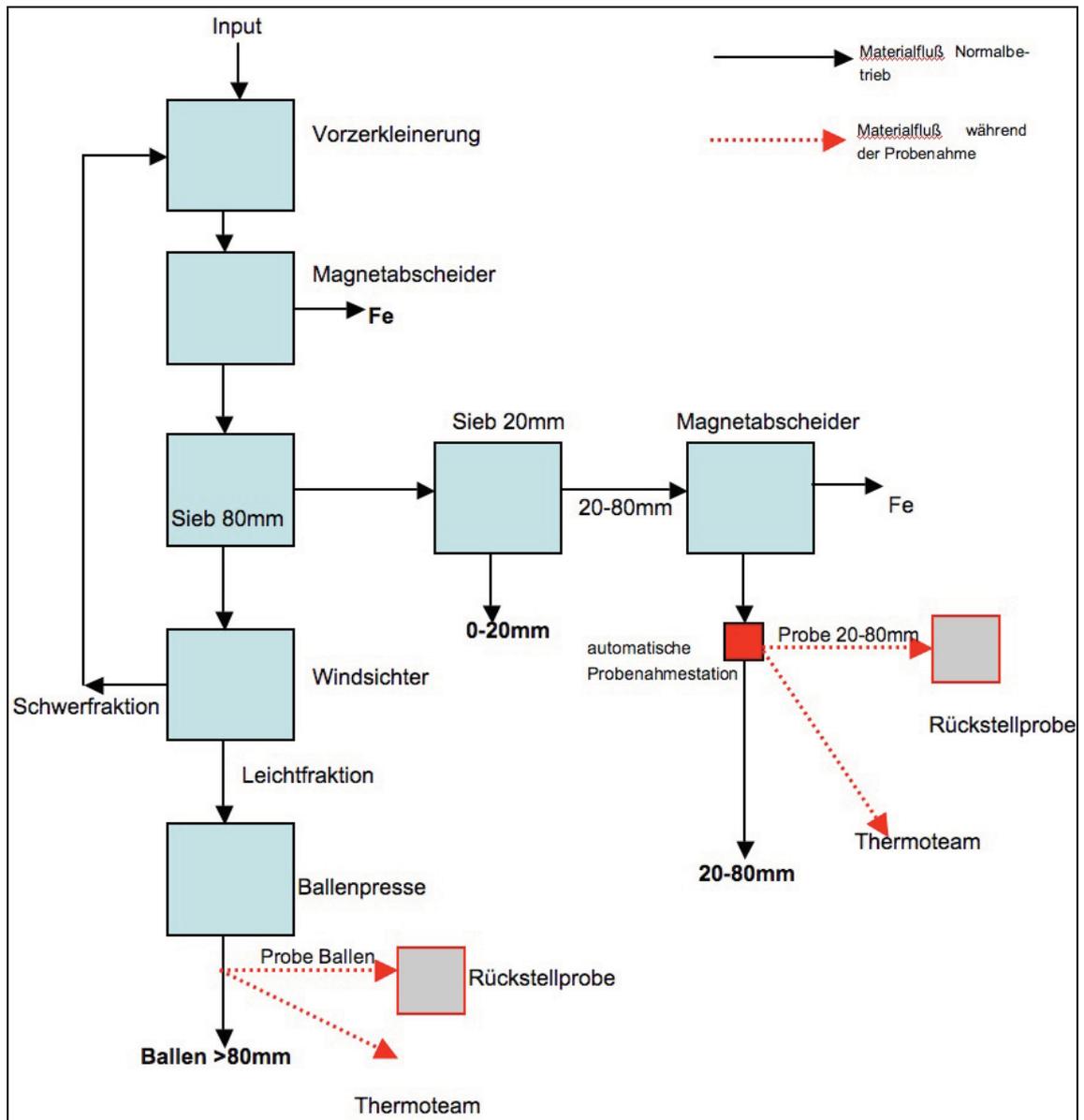
Die Fraktion **20 – 80 mm** passiert einen zweiten Magnetabscheider der den Grossteil der noch im Material verbliebenen Eisenfracht (Abscheidung ca. 90% der Rest-Fe-Fracht) abtrennt.

Das **Überkorn > 80mm** gelangt in einen Windsichter und wird in eine **Leichtfraktion** und eine **Schwerfraktion** getrennt. Die Schwerfraktion wird durch Rückführung in den Vorzerkleinerer so lange im Kreis geführt bis sie in einen der Outputströme übergeführt ist.

Die **Leichtfraktion** wird zu Ballen verpresst.

Folgende Abbildung zeigt die Splittinganlage Wien.

¹ Die Beschreibung der Verfahrensschritte entspricht dem Stand der Anlage vor dem Umbau 2006. Für das Qualitätssicherungskonzept sind die vorgenommenen zusätzlichen Verfahrensschritte nicht relevant und beeinflussen daher nicht die weiteren Ausführungen.



Anhang-Abb. 33: Fließbild Splittinganlage Wien

Es entstehen folgende Outputströme:

- Eisenfraktion (Fe); ca 3%
- Feinfraktion 0 – 20 mm; ca.10 - 15%
- Fraktion 20 – 80 mm (Wirbelschichtfraktion); ca. 60%
- Leichtfraktion > 80mm; Rest

Alle Output-Ströme werden verwogen.

B. Qualitätskontrolle

Die Masse einer Probe ist von der Korngröße des Materials abhängig.

Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten muss die Probemasse sowohl bei losen Material als auch bei Ballen mehrere m³ betragen.

Diese Menge muss in mehreren Schritten zerkleinert homogenisiert und auf Laborprobengröße reduziert werden.

1. Probenahme

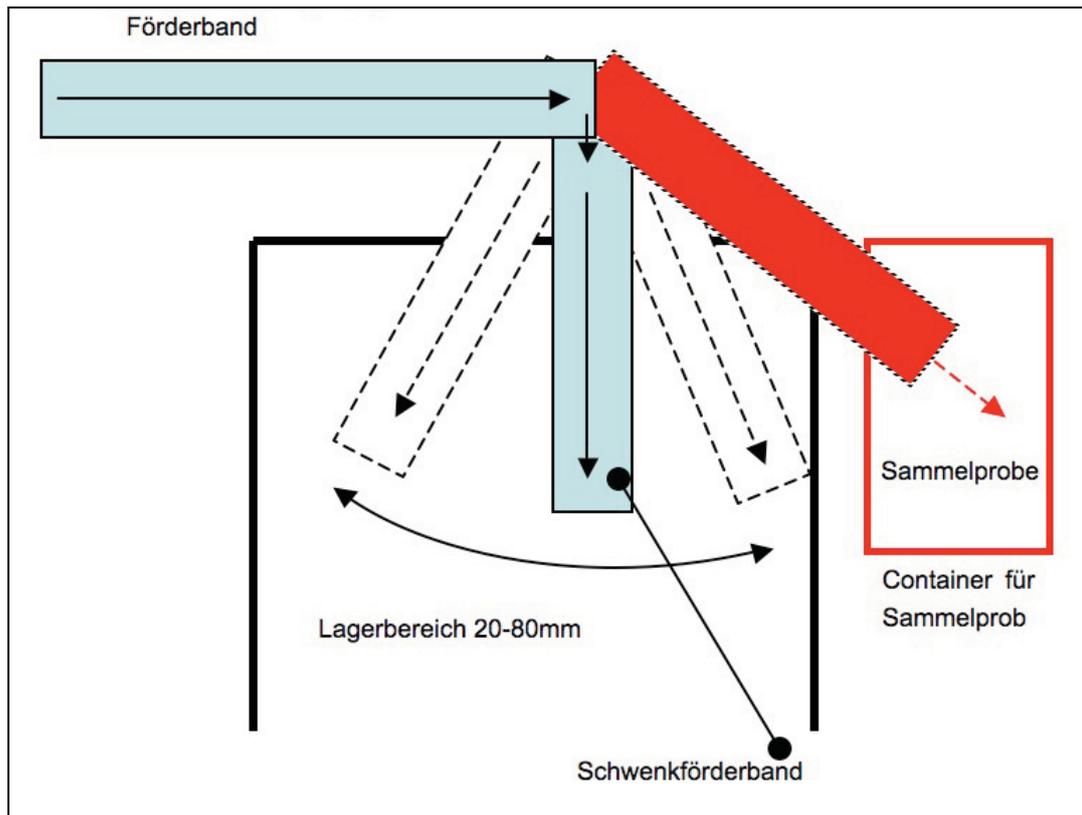
- **Bulk (Loses Material 20 – 80 mm)**

Für die Fraktion 20-80mm gibt es eine automatische Probenahmeverrichtung die es erlaubt den Materialstrom repräsentativ zu beproben.

Prinzip: Ein Schwenkförderband wird in periodischen Abständen über einen Container bewegt. Dort verharrt das Band ein definiertes Zeitintervall. → Teilprobe! (Inkrement)

Diese Vorgangsweise liefert eine repräsentative Probe für loses Material (Bulk).

Folgende Abbildung zeigt die Entnahme von repräsentativen Proben aus losem Material:



Anhang-Abb. 34: Prinzip der Probenahme für loses Material (Bulk)

- **Ballen**

Nach der Ballenpresse wird jeder x-te Ballen (siehe Seite 9: Berechnung der erforderlichen Probemassen Splittinganlage Wien) mit dem Stapler entnommen und in ein Probenrückstelllager gestellt.

Diese Ballen stellen eine repräsentative Rückstellprobe dar und können bei Bedarf näher untersucht werden.

- **Rückstellproben**

Das mit der automatischen Probenahmestation entnommene lose Material sowie Ballen werden während der Produktion laufend in Container gefüllt. Alle zwei Wochen werden diese Container rückgestellt und gegen zwei neue getauscht.

Dadurch ist immer eine repräsentative Probe verfügbar die einer näheren Untersuchung zugeführt werden kann.

Nach zwei weiteren Wochen wird das Probematerial in den Rückgestellten Containern dem Outputmaterial zugemischt.

C. Probenaufbereitung (Ballen/loses Material) in der ThermoTeam-Anlage

Um Laborproben aus den zu analysierenden Fraktionen (bulk und Ballen) zu erhalten, werden diese in der ThermoTeam-Anlage weiterbehandelt.

Prinzip:

Das Probematerial durchläuft einen Teil der Anlage (rot strichlierte Pfeile) und wird schließlich in zwei Schreddern (3D-Zerkleinerer) auf eine Korngröße $d_{95} = 10\text{mm}$ gebracht.

Um den Materialstrom zu 100 % zu den 3D-Zerkleinerer zu lenken wird der Windsichter ausgeschaltet. Alle anderen Abscheideaggregate werden normal betrieben.

Erst dieser Zerkleinerungsschritt erlaubt es die Probenmenge zu verringern (von einigen Tonnen auf einige kg).

Dies geschieht mittels einer automatischen Probenahmestation die während des Zerkleinerungsvorganges in einem gewissen Zeitintervall Teilproben (Inkrement) aus dem Material-Outputstrom der 3D-Zerkleinerer entnimmt.

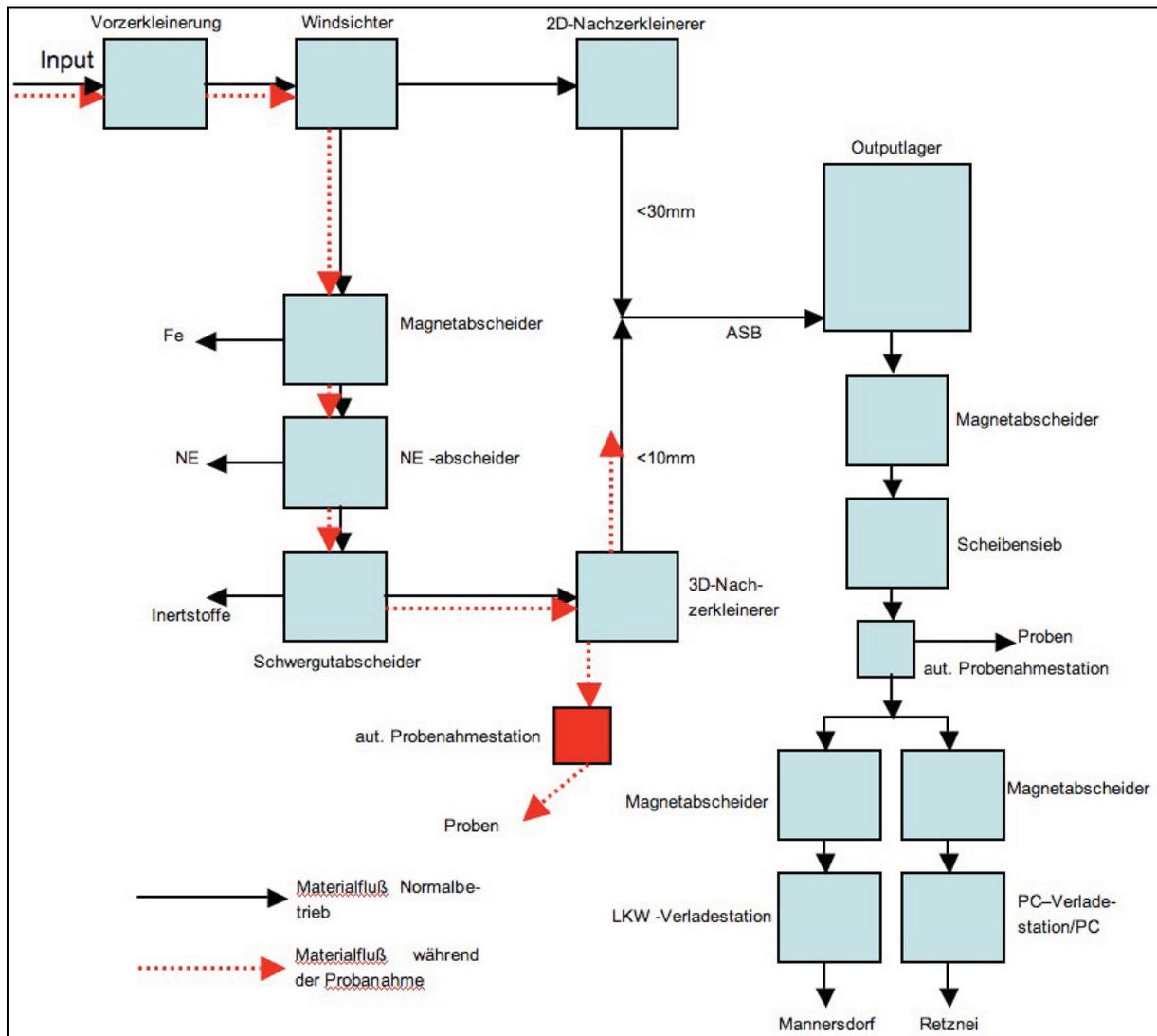
Diese Teilproben werden homogenisiert und manuell durch Viertelung auf eine repräsentative Laborprobe reduziert.

Um eine Vermischung des Probematerials mit Material aus dem laufenden Betrieb zu verhindern, muss die gesamte Anlage so lange leer laufen (ca. 20 min) bis keine Materialreste mehr vorhanden sind.

Zusätzlich müssen die 3D-Nachzerkleinerer geöffnet und manuell von Materialresten befreit werden.

Die Durchsatzleistung für die Zerkleinerung des Probematerials beträgt ca. 2t/h.

Nachstehend ist das Anlagenschema der ThermoTeam Anlage dargestellt. Die roten strichlierten Pfeile symbolisieren den Materialfluss während der Probenaufbereitung.



Anhang-Abb. 35: Fließbild Thermo- Team -Anlage

D. Berechnung der erforderlichen Probemassen Splittinganlage Wien

Lot: produzierte Menge in einem Betrachtungszeitraum, in dem sich die Zusammensetzung des eingesetzten Mülls nicht wesentlich ändert.

Gewählt: 1500 t

1. Berechnung der Mindestprobemasse

$$m_{\text{msample}} = \pi/6 \times d_{95}^3 \times s \times \lambda \times g \times (1-p)/((CV)^2 \times p)$$

	Einheit	Bulk (20 – 80 mm)	Ballen (> 80 mm)
d95	cm	8	30
S	-----	1,0	0,1
λ	t/m ³	0,9	0,9
G	-----	0,25	0,25
P	-----	0,01	0,01
CV	-----	0,1	0,1
m_{msample}	g	596.000	3.148.000
m_{msample}	t	0,6	3,1

Die 0,6 t sind als Mindestmenge für bulk zu verstehen.

Aufgrund der Heterogenität des Materials wurde für Bulk eine Probemenge von 6,0 t gewählt.

$$m_{\text{sample,bulk}} = 6,0 \text{ t}$$

Aufgrund der Heterogenität des Materials wurde für Ballen eine Probemenge von 10,0 t gewählt.

$$m_{\text{sample,balls}} = 10,0 \text{ t}$$

2. Mindest increment-Masse

$$m_{\text{mincrement}} = 2,7 \times 10^{-2} \times d_{95}^3 \times \lambda_{\text{Schüttung}}$$

	Einheit	Bulk (20 – 80 mm)	Ballen (> 80 mm)
d_{95}	cm	8	30
$\lambda_{\text{Schüttung}}$	t/m ³	0,300	0,100
$m_{\text{mincrement}}$	kg	4,14	72,9

gewählte Inkrementgröße für bulk: 20 kg

$$m_{\text{increment, bulk}} = 20 \text{ kg}$$

gewählte Inkrementgröße für Ballen: 1 Ballen (ca. 80 – 100 kg)

$$m_{\text{increment, balls}} = 90 \text{ kg}$$

3. Anzahl der Inkremente

Anzahl der Inkremente = Probemasse / min. Inkrement Masse

	Einheit	Bulk (20 – 80 mm)	Ballen (> 80 mm)
m_{sample}	kg	6000	10.000
$m_{\text{increment}}$	kg	20	90
Number of increments	-----	300	111

E. Reduktion der Probe-Masse bei ThermoTeam

Bei der Fa. ThermoTeam werden Ballen und Bulk (loses Material) zu einer repräsentativen Laborprobe aufbereitet.

Die Mischprobe Bulk mit einem $d_{95} = 80 \text{ mm}$ wird auf $d_{95} = 10 \text{ mm}$ zerkleinert.

Die Mischprobe Ballen mit einem $d_{95} = 300 \text{ mm}$ wird ebenfalls auf $d_{95} = 10 \text{ mm}$ zerkleinert.

1. Mindest Probe-Masse für $d_{95} = 10 \text{ mm}$

$$m_1 / m_2 \geq s_1 / s_2 \times (d_1 / d_2)^3$$

- m_1 Probemasse vor der Reduktion
- m_2 Probemasse nach der Reduktion
- s_1 shape factor vor der Reduktion
- s_2 shape factor nach der Reduktion
- d_1 Korngröße vor der Reduktion
- d_2 Korngröße nach der Reduktion

	Einheit	Bulk (20 – 80 mm)	Ballen (> 80 mm)
s_1	-----	1	0,1
s_2	-----	1	1
d_1	cm	8	30
d_2		1	1
$m_1 (= m_{\text{sample}})$	kg	6.000	10.000
$m_2 (= m_{\text{sample, new}})$	kg	11,7	3,7

Aufgrund der Heterogenität des Materials wurde eine Probemasse für beide Materialien (bulk and balls) von 30 kg gewählt.

$$m_{\text{sample, gewählt}} = 30 \text{ kg}$$

2. Mindestinkrement-Masse für $d_{95}=10\text{mm}$

$$m_{\text{mm}} = 2,7 \times 10^{-2} \times d_{95}^3 \times \lambda_{\text{Schüttung}}$$

	Einheit	Bulk (20-80mm)→10mm	Ballen (>80mm)→10mm
d_{95}	cm	1	1
$\lambda_{\text{Schüttung}}$	t/m ³	0,3	0,3
$m_{\text{mincrement}}$	kg	0,0081	0,0081

Die 0,0081 kg sind als Mindestmasse zu verstehen. Da die dafür benötigte Probenahmezeit sehr kurz ist wurde die Inkrementgröße größer gewählt:

$$m_{\text{mincrement, gewählt}} = 0,5 \text{ kg}$$

$$m_{\text{sample, gewählt}} = 30 \text{ kg}$$

$$\text{Anzahl der Inkremente} = m_{\text{sample, gewählt}} / m_{\text{mincrement, gewählt}} = 30 / 0,5 = 60$$

Durchsatz 3D-Linie ca. 2 t/h

Dauer für 6 t Bulk – Probematerial = 3h

Dauer für 10 t Ballen-Probematerial = 5h

Alle 3 min wird ein Inkrement genommen.

F. Anhang

Die Berechnung der benötigten Massen und Einflussfaktoren basiert auf dem Entwurf:

Solid recovered fuels

Solid recovered fuels – Sampling methods CEN/TC 343 N88 (Entwurf) Auszüge

Lot: quantity of fuel produced during a consecutive period, provided that in this period no significant changes occur in the types of waste used in the production process.

The maximum weight of a lot, for sampling purposes, shall be no more than 1.500 t.

5.4 Determination of the sampling procedure

The material shall preferably be sampled from a moving transport medium.

Most representative method: mechanical from a drop flow: (Annex G)

Annex G

A collection tray shall be used for both mechanical and manual sampling from the drop flow:

The collection tray shall satisfy the following requirements:

- the direction of movement shall be perpendicular to the direction of movement during the sampling.
- the size of the collection tray shall be large enough to enable all the material in the drop flow to end up in the collection tray. (ganzer Querschnitt muß erfasst werden!)
- the collection tray shall be moved through the entire flow at a constant speed when taking a sample.

Put the increments (at least 24 for a lot weighing 1.500 t) together to form one sample

Annex D

Determination of minimum sample size

The following factors shall be determined in order to determine the minimum sample size:

- the nominal top size of a particle, d_{95} (Siebgröße bei der 95% der Körner durch gehen)
- the shape factor s (Abweichung von der 3-dimensionalen Kornform) [m^3/m^3]
 - if the shape factor is not determined a value 1,0 shall be used
 - following equation shall be used: $s = V_{95}/d_{95}^3$
 - V_{95} is the max. volume of a fluff particle (a mass fraction of 95% of the particles are smaller than V_{95} in cm^3).
- the density of the particles in the solid recovered fuel λ
- the distribution factor g (correction factor for distribution in the particle size)
 - g corrects for the distribution in the particle size depends on the ratio between the nominal top size, d_{95} , and the minimum particle size, d_{05} see the following table:

Ratio d_{95}/d_{05}	g
$d_{95}/d_{05} > 4$	0,25
$2 < d_{95}/d_{05} < 4$	0,5
$2 < d_{95}/d_{05} < 2$	0,75
$d_{95}/d_{05} = 1$	1
d_{05} is the minimum particle size (a mass fraction of 5% of the particles are smaller than d_{05})	

In solid recovered fuels, there is generally a large distribution in the particle size. In many cases this distribution results in a g of 0,25. Consequently, g for pellets is generally 1,00.

- the factor p (= the fraction of the particles with a specific characteristic, such a contaminant)

- If no value is known or determined for the material, a fixed value of 0,10 shall be maintained for this factor.
- the coefficient of variation CV
 - is the correction for the fundamental error that is accepted when taking the aforementioned assumptions to determine a correct minimum sample size. A value of 0,1 shall be maintained for the coefficient of variation.

D.4 Calculation of the minimum sample size

$$m_m = \pi/6 \times d_{95}^3 \times s \times \lambda \times g \times (1-p)/((CV)^2 \times p)$$

m_m mass of the min. sample size, in grams as received;

$$\pi = 3,141$$

d₉₅ nominal top size of a particle (95% of the particles are smaller than d₉₅) in cm

s shape factor, in cm³/cm³

λ average particle density of the particles in the SRF, in g/cm³ as received;

g is the correction factor for distribution in the particle size (Korrektur f. Korngrößenverteilung)

p is the fraction of the particles with a specific characteristic, in g/g

CV is the coefficient of variation caused by the fundamental error, equal to 0,1

Example 1 fluff – type SRF

$$\lambda = 1000\text{kg/m}^3$$

bulk density amounts to 80 kg/m³

V₉₅ amounts to 95 cm³

$$d_{95} = 19 \text{ cm}$$

$$d_{05} = 5 \text{ cm}$$

$$s = 95/19^3 = 1/72,2$$

ratio $d_{95}/d_{05} = 3,8$ accordingly a value of 0,5 applies to g

a value of 0,10 is maintained for the factor **p** and **CV**

$$3,141/6 \times 19^3 \times 1/72,2 \times 0,1 \times 0,5 \times (1-0,1)/(0,1^2 \times 0,1) = 22.384 \text{ grams}$$

(bulk density= 80 kg/m³ → Volume = 280 l)

Annex E

Determination of minimum increment size for mechanical sampling from a drop flow

The dimensions of the sampling equipment shall be meet the following requirement:

- The breadth of the increment shall be equal to least three times the d_{95} of the material for sampling, unless the nominal top size d_{95} is smaller then 3 mm.
- the mass of the increment size is calculated using the following equation:

$$m_i = \varphi_d \times b/v_c$$

where

m_i is the mass of the increment size, in kg;

φ_d is the drop speed, in kg/s; (Durchsatz)

b is the breadth of the increment, in m; (Breite, Weite)

v_c is the speed at which the collection tray moves through the drop flow, in m/s (< 0,6 m/s)

Annex F

Determination of minimum increment size for sampling from static lots or vehicles

Principle

The size of an increment shall be enough so that all particles have a chance to be part of increment.

$$m_{\text{minincrement}} = 2,7 \times 10^{-2} \times d_{95}^3 \times \lambda_s$$

where

$m_{\text{minincrement}}$ is the mass of the increment size, in kg

d_{95} is the nominal top size (a mass fraction of 95% of the particles are smaller than d_{95}) in cm

λ_s is the density of the heap (bulk)

Methods for sample preparation

CEN/TC 343 N89 (DRAFT)

6.3.2 Retaining the minimum (sub) sample size

During every mass –reduction step, every particle in the sample before mass-reduction shall have an equal probability of being included in the sub-sample retained after mass-reduction. For non-granular materials with a shape factor significantly smaller than 1,0 a correction shall be made for changing shape factor. How this correction shall be calculated is specified in Annex A.

Each step a sample preparation shall comply with equation 2:

$$m1/m2 \geq s1/ s2 \times (d1 / d2)^3$$

where,

- m1** is the sample size of sample to be reduced
- m2** is the sample size of sample after reduction
- s1** is the shape factor of the sample to be reduced
- s2** is the shape factor of the sample after reduction
- d1** is the nominal top size of sample to be reduced
- d2** is the nominal top size of sample after reduction

For more or less granular materials the shape factors s_1 and s_2 will be close to 1. In this case it is easier and cheaper to assume these two shape factors to be 1. For materials which are far from granular the shape factor s_1 needs to be determined. The determination of the shape factor is specified in prEN XXXX. The shape factor will change during the comminution process. In Annex A (Methods of sample preparation) is specified how a prognosis shall be made for the increase of the shape factor after particle size reduction. For each comminution step a new shape factor and nominal top size shall be determined in order establish whether the proposed sample preparation step complies with equation 2.

Annex A

Table A1 shows the changing of the shape factor after particle size reduction

Table A.1 — The shape factor after particle size reduction

Shape factor before reduction (f_0)	Global shape of the particles	Number of times d_{95} is reduced (n)													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	100
0,01	flat	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	1,00
	mixed/average	0,03	0,06	0,10	0,15	0,21	0,28	0,36	0,45	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	1,00
	elongated/needle-shaped	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,49	0,64	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,02	flat	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,00
	mixed/average	0,06	0,12	0,20	0,30	0,42	0,56	0,58	0,59	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	0,08	0,18	0,32	0,50	0,72	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,04	flat	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
	mixed/average	0,12	0,24	0,40	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	0,16	0,36	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,05	flat	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	mixed/average	0,15	0,30	0,50	0,63	0,65	0,68	0,70	0,73	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	0,20	0,45	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	flat	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	mixed/average	0,30	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	0,40	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,15	flat	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	mixed/average	0,45	0,72	0,80	0,87	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	0,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,20	flat	0,40	0,60	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	mixed/average	0,60	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,25	flat	0,50	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	elongated/needle-shaped	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,50	all shapes	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,75	all shapes	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	all shapes	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

IX. Fotogalerie Splittinganlage Wien



Anhang-Abb. 36: Sieb Feinfraktion (15 mm Sieblochung)



Anhang-Abb. 37: Überband Magnetabscheider (Fe Schrott) und Wirbelstromscheider (NE)



Anhang-Abb. 38: Windsichter (Störstoff-Abscheider)



Anhang-Abb. 39: Sieb Feinfraktion und Befüllung Container



Anhang-Abb. 40: Anlieferbereich



Anhang-Abb. 41: Lagerbox HOTDISC-EBS (Tageslager)



Anhang-Abb. 42: Vorzerkleinerer Lindner Jupiter



Anhang-Abb. 43: Vorzerkleinerer Lindner Jupiter mit Rückführband (Kreislaufzerkleinerung), im Hintergrund Magnetabscheider und Kreisschwingsieb (80 mm)

X. Permeabilität als Grundlage der Untersuchung des Selbsterwärmungsverhalten

Bericht

Permeabilität als Grundlage der Untersuchung des Selbsterwärmungsverhalten

erstellt im Auftrag von

Saubermacher Dienstleistungs AG

Stephanie Egger

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Harald Raupenstrauch

September 2007



**LEHRSTUHL FÜR
THERMOPROZESSTECHNIK**
Lehrstuhlleiter: Univ.-Prof. Dr. techn. Harald Raupenstrauch

Tel: +43 (0)3842 402-5800
Fax: +43 (0)3842 402-5802

harald.raupenstrauch@mu-leoben.at

Bericht

Permeabilität als Grundlage der Untersuchung des Selbsterwärmungsverhalten

erstellt im Auftrag von

Saubermacher Dienstleistungs AG

Stephanie Egger

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Harald Raupenstrauch

September 2007



INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
2	Oxidationskinetik bei Niedertemperaturen	5
3	Experimentelle Bestimmung der Permeabilität	6
3.1	Probenbeschreibung	6
3.2	Versuchsanlage.....	8
3.3	Versuchsdurchführung	11
3.4	Ergebnisse der experimentellen Messungen	12
4	Computersimulationen	23
4.1	Versuchsreihe ohne Feingut	23
4.2	Versuchsreihe mit Feingut.....	30
4.3	Vergleich der Computersimulationen	33
5	Interpretation	35
6	Anhang	36
6.1	Literaturverzeichnis	36
6.2	Bilddokumentation.....	36

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Sortieranalyse des Lagers in Lannach [2].....	7
Tabelle 2: Wichtigste Größen der Versuchsanlage	8
Tabelle 3: Permeabilitätsergebnisse des ersten Versuches – ohne Feinfraktion.....	13
Tabelle 4: Permeabilitätsergebnisse des zweiten Versuches – mit Feinfraktion.....	16
Tabelle 5: Parameter zur Berechnung der Geschwindigkeit bei $Re=10$	19

FORMELVERZEICHNIS

Formel 1: Berechnung des Volumenstrom	12
---	----

Formel 2: Druckverlustberechnung..... 12
Formel 3: Gleichung von D'Arcy 12
Formel 4: Reynoldszahl..... 19
Formel 5: mittlere Geschwindigkeit..... 19
Formel 6: Hydraulischer Durchmesser 19
Formel 7: Effektive Permeabilität..... 19

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Grund-, Auf- und Seitenansichtsskizze der Versuchsanlage zur Bestimmung der Permeabilität 9
Abbildung 2: Permeabilität, erster Versuch 14
Abbildung 3: Permeabilität, zweiter Versuch 15
Abbildung 4: Vergleich der Versuche 1 und 2..... 17
Abbildung 5: Abhängigkeit des $\Delta p/L$ der Schüttung gegen die Reynoldszahl 18
Abbildung 6: Permeabilitätswiderstände des Versuches mit feiner Fraktion 20
Abbildung 7: Widerstände der Permeabilitäten ohne Feinfraktion 21
Abbildung 8: Widerstände der Permeabilitäten der beider Versuchsreihen..... 22
Abbildung 9: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch ohne Feinfraktion; Tag 6,5 24
Abbildung 10: Geschwindigkeitsfeld; Versuch ohne Feinfraktion; Tag 6,5 24
Abbildung 11: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch ohne Feinfraktion; Tag 78 25
Abbildung 12: Geschwindigkeitsfeld inkl. Vergrößertem Ausschnitt, der ersten Versuchsreihe; 78. Tag 26
Abbildung 13: Temperaturquerschnitt nach 64 Tagen unter Einbindung eines Permeabilitätsprofils 27
Abbildung 14: Geschwindigkeitsfeld des 64. Tages unter Einbindung des Permeabilitätsprofils 27
Abbildung 15: Temperaturquerschnitt nach 106 Tagen unter Einbindung eines Permeabilitätsprofils 28

Abbildung 16: Geschwindigkeitsfeld des 106. Tages unter Einbindung des Permeabilitätsprofils	28
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der maximalen Temperatur des Feststoffes.....	29
Abbildung 18: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch mit Feingut; 1.Tag.....	30
Abbildung 19: Geschwindigkeitsfeld des ersten Tages der zweiten Versuchsreihe .	31
Abbildung 20: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch mit Feingut; 57.Tag...	31
Abbildung 21: Geschwindigkeitsfeld; 57. Tag; Versuch ohne Feinfraktion	32
Abbildung 22: Zeitliche Verläufe der maximalen Feststofftemperatur im Lager bei einem Lückengrad von 30%	33
Abbildung 23: Feststofftemperatur und Geschwindigkeitsfeld im Lager nach sieben Wochen bei einem Lückengrad von 30%	34
Abbildung 24: U-Rohr, Gebläse und Hohlzylinder mit Zuleitung zur Bestimmung der Permeabilität	36
Abbildung 25: Ansicht des befüllten Hohlzylinders von der beströmten Seite nach Umlegen der Versuchsanlage	37
Abbildung 26: Entleerung des Hohlzylinders mit Hilfe eines Schaufelbaggers	37
Abbildung 27: Profil des geschredderten Abfalls in Lannach.....	38
Abbildung 28: Nach 3 Wochen Lagerung setzte sich die Schüttung um 54 cm.....	38
Abbildung 29: Beispiel der mechanischen Verdichtung; zeigt auch die Verankerung an die Wand	39

1 Einleitung

Exotherme chemische und mikrobiologische Reaktionen können zur Selbstentzündung führen, wenn brennbare Materialien unter ungünstigen Bedingungen gelagert werden.

Pyrophore Substanzen reagieren bereits bei Raumtemperatur mit Luftsauerstoff, wobei die frei werdende Energie – wenn diese nicht ausreichend abgeführt werden kann - die Gefahr der Selbsterwärmung bzw. in weiterer Folge Selbstentzündung des umgebenden Materials verstärkt.

Durch die Untersuchung relevanter Parameter kann die Möglichkeit eines Lagerbrandes minimiert werden. Parameter wie die Oxidationskinetik, die Permeabilität, der Lückengrad, der Böschungswinkel, sowie die Höhe der Schüttung sind dabei von entscheidender Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit wurde die Permeabilität untersucht und in das Simulationsprogramm SEBOSS¹ (SELf- heating Behaviour Of Stored Solids) eingebunden.

2 Oxidationskinetik bei Niedertemperaturen

Die Versuche erfolgen mittels Differentialreaktor im Labormaßstab, wobei das Volumen der Proben auf max. 50ml beschränkt ist. Die Aufzeichnung von Temperatur, CO₂, CO und O₂ erfolgten online mittels PC, während die Aufzeichnungen des Druckes im Reaktor und des Durchflusses händisch erfolgen. Mit den erfassten Ergebnissen und der Masse des Brennstoffes können die Bildungsraten von Kohlenmonoxid und -dioxid ermittelt werden, welche wiederum die Berechnung der Aktivierungsenergie und der Reaktionskonstante ermöglichen.

¹ Von Susanne Wallner in ihrer Dissertation entwickelte Software

Die Oxidationskinetik wurde bereits in der Diplomarbeit von Roland Walkner untersucht. Seine Ergebnisse werden in der Simulation ebenso verwendet [1].

3 Experimentelle Bestimmung der Permeabilität

Die Permeabilität ist eine Kenngröße, welche die Durchströmbarkeit von Schüttgütern charakterisiert. Vor allem im Bereich der Selbsterwärmung ist sie von großer Bedeutung, da sie einerseits den Zu- und Abtransport der gasförmigen Reaktionspartner in der Schüttung bestimmt und andererseits den Wärmetransport maßgeblich beeinflusst. Die Durchströmbarkeit wird u. a. beeinflusst durch die Verdichtung unter Eigenlast, die Korngrößenverteilung sowie ggf. durch die Erweichung der Stoffe. Durch Permeabilitätsmessungen kann ein Rückschluss auf das Selbsterwärmungsverhalten eines Lagers gezogen werden. Durch die Abbildungen 19 bis 24 (im Anhang) wurde die experimentelle Untersuchung photographisch dargestellt.

3.1 Probenbeschreibung

Der Versuch fand in einem Abfalllager in Lannach statt. Es handelte sich hierbei um geschredderten Abfall mit einer Korngröße bis ca. 80mm.

Prinzipiell wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Der ersten Probenschüttung wurde Probenmaterial, das kleiner als 10mm ist, durch eine industrielle Siebschnecke entzogen. In der zweiten Probe waren alle Korngrößen bis ca. 80mm beinhaltet.

Wie in Tabelle 1 beschrieben ist, ist die Schüttung in Bezug auf Form und Material sehr vielfältig. Es befanden sich neben 3-dimensionalen (z. B. Holz) auch 2-dimensionale Materialien (z. B. Kunststofffolien) im Lager.

Tabelle 1: Sortieranalyse des Lagers in Lannach [2]

<i>Material</i>	<i>Gewicht</i> <i>[kg]</i>	<i>Verteilung</i> <i>[Gew-%]</i>
<i>Papier/ Pappe (2D)</i>	29,22	22,63
<i>Holz (3D)</i>	21,53	16,67
<i>Kunststoff- Folien (2D)</i>	47,44	36,74
<i>Kunststoff- Rohre (3D)</i>	8,29	6,42
<i>Textilien (3D)</i>	3,08	2,38
<i>Leder (3D)</i>	0,23	0,18
<i>Gummi/ Altreifen</i>	1,66	1,29
<i>Schaumstoff/PU (3D)</i>	2,64	2,04
<i>Styropor (3D)</i>	0,73	0,57
<i>Bauschäume (3D)</i>	0,12	0,10
<i>Verbundstoffe</i>	0,23	0,18
<i>Teerpappe</i>	0,14	0,11
<i>Metall (3D)</i>	0,35	0,27
<i>Cu Kabel +Isolierung (3D)</i>	0,18	0,14
<i>Glas (3D)</i>	2,38	1,84
<i>Elektronikschrott (2D)</i>	0,17	0,13
<i>Steine-Bauschutt (3D)</i>	4,04	3,13
<i>Rest< 5 cm</i>	6,68	5,17
	129,11	100,00

3.2 Versuchsanlage

Die Versuchsanlage wurde vor Ort in Lannach aufgebaut. Die Größe der Versuchsanlage wurde so gewählt, dass ein möglichst genauer Wert für die Computersimulation bestimmt werden konnte. Weiters hatten etwaige Wandeffekte durch die Größe der Anlage nur noch eine nebensächliche Bedeutung.

Somit ergab sich, wie in Tabelle 2 und Abbildung 1 gezeigt, der prinzipielle Aufbau der Versuchsanlage.

Tabelle 2: Wichtigste Größen der Versuchsanlage

	$\varnothing_{\text{Außen}}$ [mm]	$\varnothing_{\text{Innen}}$ [mm]	Maschenweite [mm]
<i>Zylinder</i>	1016	1003,4	-
<i>Luftzufuhr</i>	100	90	-
<i>Druckmessung</i>	10	8	-
<i>Gitter</i>	970	-	40

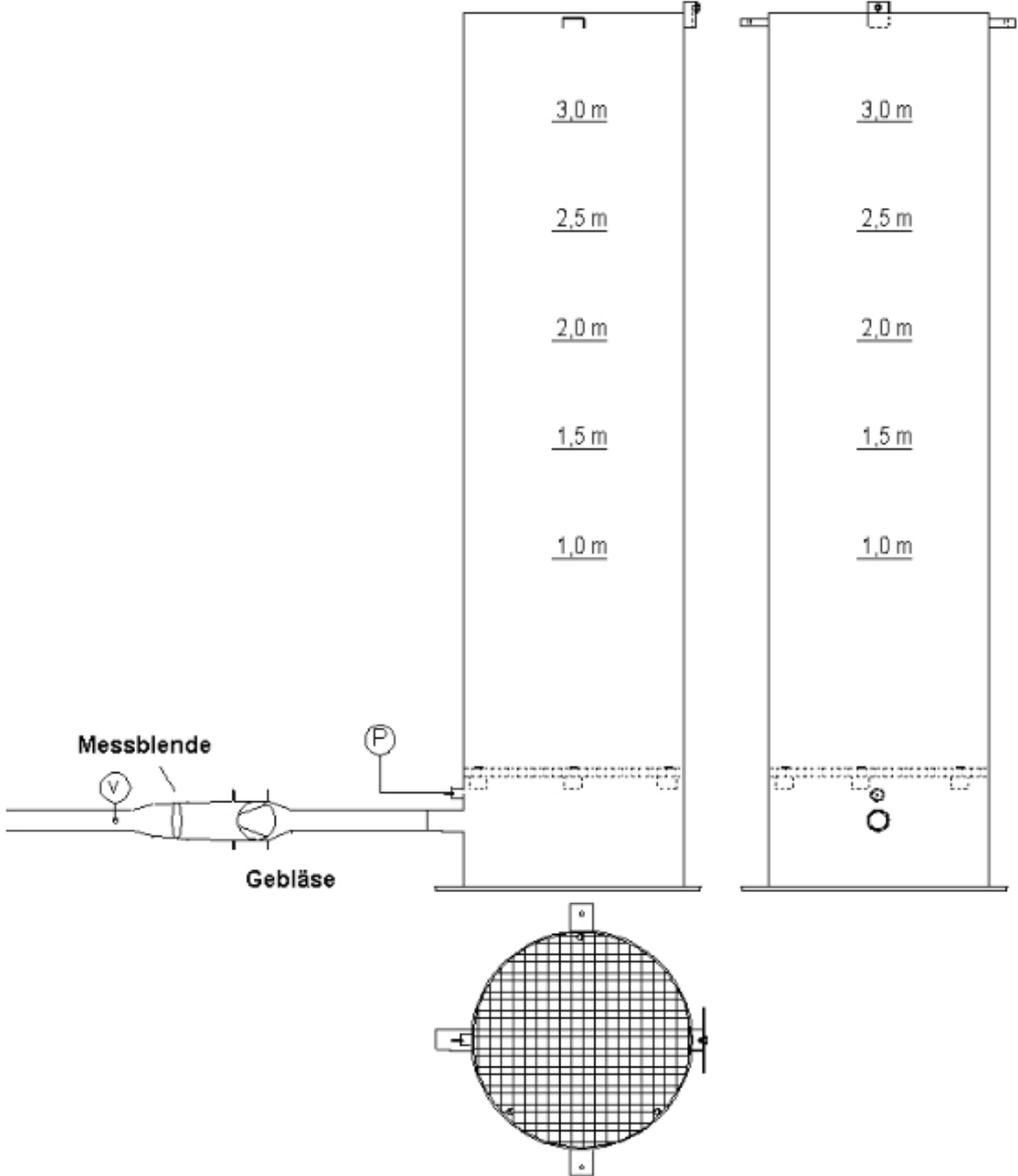


Abbildung 1: Grund-, Auf- und Seitenansichtsskizze der Versuchsanlage zur Bestimmung der Permeabilität

Die Versuchsanlage bestand aus einem Radialventilator² mit einer mittels Flansch befestigten Messblende. Durch die Regelung der Geschwindigkeit bzw. des Gasvolumenstroms war die Einstellung entsprechender Reynoldszahlen möglich, die wiederum ein wichtiger Parameter in der Simulation war (etwa $Re=10$). An den Volumenstromregler wurde ein ca. 1000mm langes Rohr mit Metallschnallen befestigt, damit für die Messung der Geschwindigkeit mit dem Anemometer³ die Strömung gerichtet war. Der durch das Gebläse angesaugte Luftstrom wurde über einen Schlauch, der mit Schlauchklemmen an ein seitliches Rohr befestigt wurde, in die Versuchsanlage gefördert. Die Messung des statischen Drucks (bzw. des Differenzdrucks zur Umgebung) erfolgte über einen Messstutzen mit einem U-Rohr-Manometer⁴.

Im Kernstück der Versuchsanlage war bei ca. 500mm ein Gitter mit einer Maschenweite von 40mm angebracht. Das Gitter hatte einen etwas kleineren Durchmesser als Rohr, wodurch ein Wechseln des Gitters in feinere oder gröbere Maschenweiten möglich gewesen wäre. Wichtig dabei war, dass sowohl Gitter als auch die Stutzen das Gewicht der Probe tragen konnten. Die Probenschüttung wurde von oben händisch mit einer Gartengabel befüllt. Das 4m hohe Rohr stand auf einer Pressgummimatte mit einer Stärke von 4mm. Durch die Flächenpressung wurde das Rohr nach unten abgedichtet. Um Bodenunebenheiten auszugleichen wurde die Gummimatte auf eine ca. 20mm dicke PVC-Platte gelegt. Zur Sicherheit wurde mit Polyurethan abgedichtet,

Außen wurden im unteren und oberen Bereich Vorrichtungen zum Heben und Entleeren der Versuchsanlage angebracht. Weiters wurde an der oberen Rückseite des Hohlzylinders ein U-Profil angebracht, welches für Sicherheitszwecke verwendet wurde, indem man die Anlage durch ein Metallgerüst mit der Wand verankerte.

² Siemens, 2CF1182-OEA2

³ testovent ® 4000; 0,4m/s -40m/s

⁴ U-Rohr vom AMFT mit blauem Farbstoff und deionisiertes Wasser befüllt

Um ein Höhenprofil der Permeabilität zu erhalten, fand die Befüllung in 500mm – Schritten statt, wobei bei 1000mm Schütthöhe begonnen wurde und die maximale Schütthöhe auf 3,5m begrenzt war.

3.3 Versuchsdurchführung

Es wurden grundsätzlich zwei Versuchsreihen durchgeführt, um den Einfluss der Korngröße $\leq 10\text{mm}$ feststellen zu können.

Nach Aufbau der Anlage (wie in 3.2 Versuchsanlage beschrieben ist) wurde überprüft, ob die gesamte Anlage dicht war. Alle Schrauben wurden nachgezogen und falls notwendig, wurden etwaige Stellen nochmals abgedichtet. Beim Radialventilator wurde überprüft, ob die Phasenpolung korrekt war und, falls notwendig, korrigiert.

Nun fand die erste Befüllung bis zur 1000m– Markierung (siehe Abbildung 1) statt. Danach wurde der Ventilator eingeschaltet. Die Messung begann mit kleinen Geschwindigkeiten und wurde durch die Steuerung der Messblende gesteigert.

Es wurde neben der Schütthöhe in m, die Geschwindigkeit im Zulaufrohr in m/s und der Druckverlust in mmWS aufgezeichnet.

Die Schütthöhe wurde in 500mm- Schritten, bis die maximale Schütthöhe von 3500mm erreicht wurde, gesteigert.

Danach wurde die Schüttung mechanisch verdichtet, die abgesunkene Höhe notiert und wie schon beschrieben die Parameter bei steigender Geschwindigkeit gemessen. Nach ca. 3 Wochen wurde der Einfluss der Eigenverdichtung durch eine weitere Messung untersucht.

Für die Entleerung musste der Radialventilator und das U- Rohr entfernt werden. Danach konnte das Versuchsrohr mit Hilfe eines Schaufelbaggers entleert und wieder aufgestellt werden.

Für den zweiten Versuch, der auch feineres Material beinhaltete, wurde der Bereich um das Pressgummi nochmals abgedichtet. Danach fand der Versuch, wie schon oben beschrieben, statt.

3.4 Ergebnisse der experimentellen Messungen

Vorerst musste die Geschwindigkeit des Zulaufrohres über den Volumenstrom in die Geschwindigkeit des Versuchsrohres über Gleichung 1 umgerechnet werden und die Umrechnung des Druckverlustes von mmWS in Pascal wurde über Gleichung 2 mit der Dichte des Wassers und der Erdbeschleunigungskonstante berechnet.

Formel 1: Berechnung des Volumenstrom

$$\dot{Q} = A_{Zuleitung} \cdot v_{Zuleitung} = A_{Rohr} \cdot v_{Rohr}$$

Formel 2: Druckverlustberechnung

$$\Delta p = \frac{\Delta p_{mmWS} \cdot \rho_{H_2O} \cdot g}{1000}$$

Nun konnte man die Gasdurchlässigkeit, wie in Formel 3, mithilfe der Schütthöhe L, der dynamischen Viskosität, der Rohrgeschwindigkeit, sowie durch den gemessenen Druckverlust berechnet werden.

Formel 3: Gleichung von d'Arcy

$$k = \frac{\omega_{Rohr} \cdot L \cdot \eta_{Luft}}{\Delta p}$$

- Versuch ohne Feinfraktion

In Tabelle 3 sind neben der Schütthöhe, der Volumenstrom, der Druckverlust und auch die mit Formel 3 berechnete Gasdurchlässigkeit aufgezeichnet.

Tabelle 3: Permeabilitätsergebnisse des ersten Versuches – ohne Feinfraktion

Bemerkung	L	$\omega_{Zuleitung}$	\dot{Q}	Δp	k
	[m]	[m/s]	[m ³ /s]	[mmWS]	[m ²]
lockere Schüttung	0,00	4,6	3,61E-02	1,0	0,00E+00
lockere Schüttung	0,50	4,7	3,69E-02	3,0	2,17E-08
lockere Schüttung	0,50	14,5	1,14E-01	5,0	3,35E-08
lockere Schüttung	1,00	4,7	3,69E-02	11,0	1,74E-08
lockere Schüttung	1,00	14,5	1,14E-01	53,0	5,16E-09
lockere Schüttung	1,50	4,4	3,46E-02	33,0	4,21E-09
lockere Schüttung	1,50	13,5	1,06E-01	83,0	4,74E-09
lockere Schüttung	2,00	4,9	3,85E-02	53,0	3,70E-09
lockere Schüttung	2,00	11,7	9,19E-02	123,0	3,70E-09
lockere Schüttung	2,50	5,8	4,56E-02	80,0	3,62E-09
lockere Schüttung	2,50	10,9	8,56E-02	156,0	3,36E-09
lockere Schüttung	3,10	4,7	3,69E-02	93,0	3,25E-09
lockere Schüttung	3,10	9,8	7,70E-02	197,0	3,29E-09
lockere Schüttung	3,50	4,4	3,46E-02	100,0	3,17E-09
lockere Schüttung	3,50	10,9	8,56E-02	245,0	3,14E-09
lockere Schüttung	3,40	15,0	1,18E-01	323,0	2,93E-09
nach 20 min Lagerung	3,40	4,4	3,46E-02	105,0	2,66E-09
nach 18 h Lagerung	3,30	3,7	2,91E-02	93,0	2,46E-09
nach 18 h Lagerung	3,30	4,4	3,46E-02	103,0	2,63E-09
Verdichtung durch Stampfen	3,14	3,7	2,91E-02	113,0	1,92E-09
nach 20 min und Verdichtung durch Stampfen	3,04	3,7	2,91E-02	125,0	1,68E-09
Verdichtung nach tägl. Stampfen nach 4 Tagen	2,97	3,2	2,51E-02	147,0	1,20E-09
Verdichtung nach tägl. Stampfen nach 4 Tagen	2,97	3,7	2,91E-02	162,0	1,26E-09
Verdichtung nach tägl. Stampfen nach 4 Tagen	2,97	4,4	3,46E-02	184,0	1,32E-09
Verdichtung nach tägl. Stampfen nach 4 Tagen	2,97	9,4	7,38E-02	345,0	1,50E-09
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	2,7	2,12E-02	193,0	7,70E-10
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	3,1	2,43E-02	215,0	7,93E-10
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	3,7	2,91E-02	230,0	8,85E-10
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	4,2	3,30E-02	255,0	9,05E-10
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	5,3	4,16E-02	285,0	1,02E-09
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	6,0	4,71E-02	310,0	1,06E-09
Eigenverdichtung, nach 18Tagen	2,96	7,6	5,97E-02	350,0	1,19E-09

Somit ergab sich, wie in Abbildung 2 dargestellte Abhängigkeit der Permeabilität gegen die Zeit. Die lockere Schüttung ist dabei in rot und die mechanisch verdichteten Schüttungen sind in farbigen Dreiecken dargestellt.

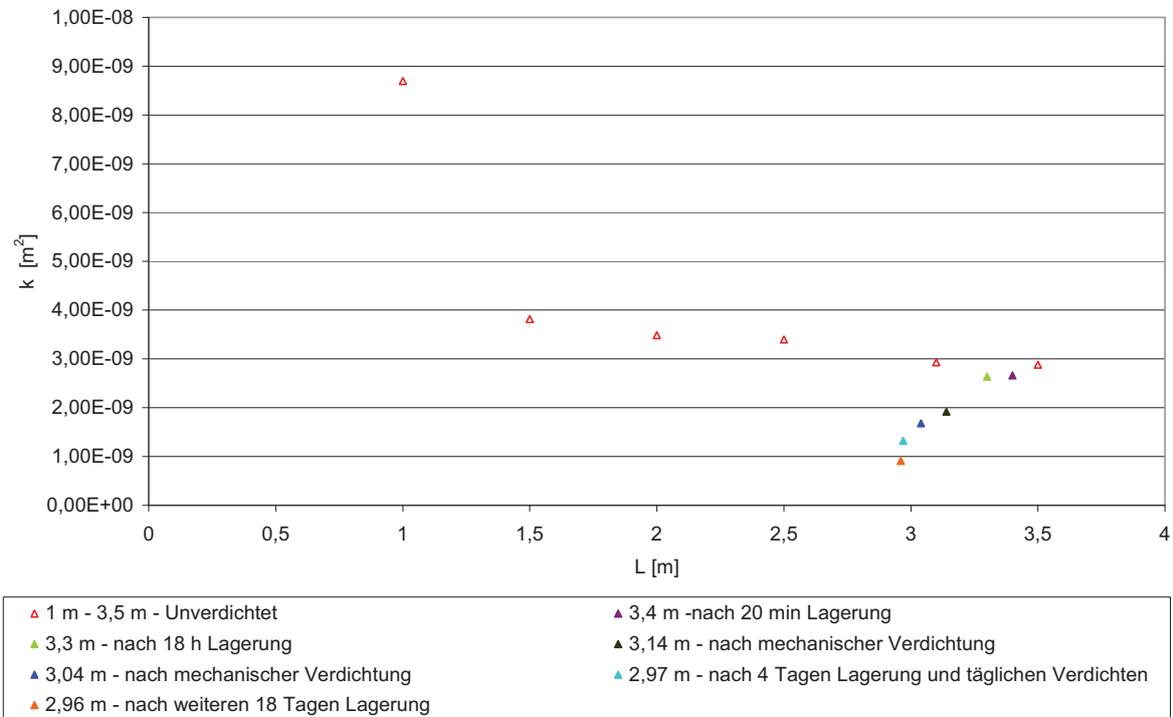


Abbildung 2: Permeabilität, erster Versuch

- Versuch mit Feingut

Die Vorgangsweise der Berechnung glich derer des ersten Versuches, wobei aber bei diesem Versuch für jede Schütthöhe mindestens 5 Geschwindigkeiten herangezogen werden, da somit die weitere Berechnung der Reynoldszahl genauer wurde.

In Abbildung 3 und Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Messung mit Feingut zu sehen.

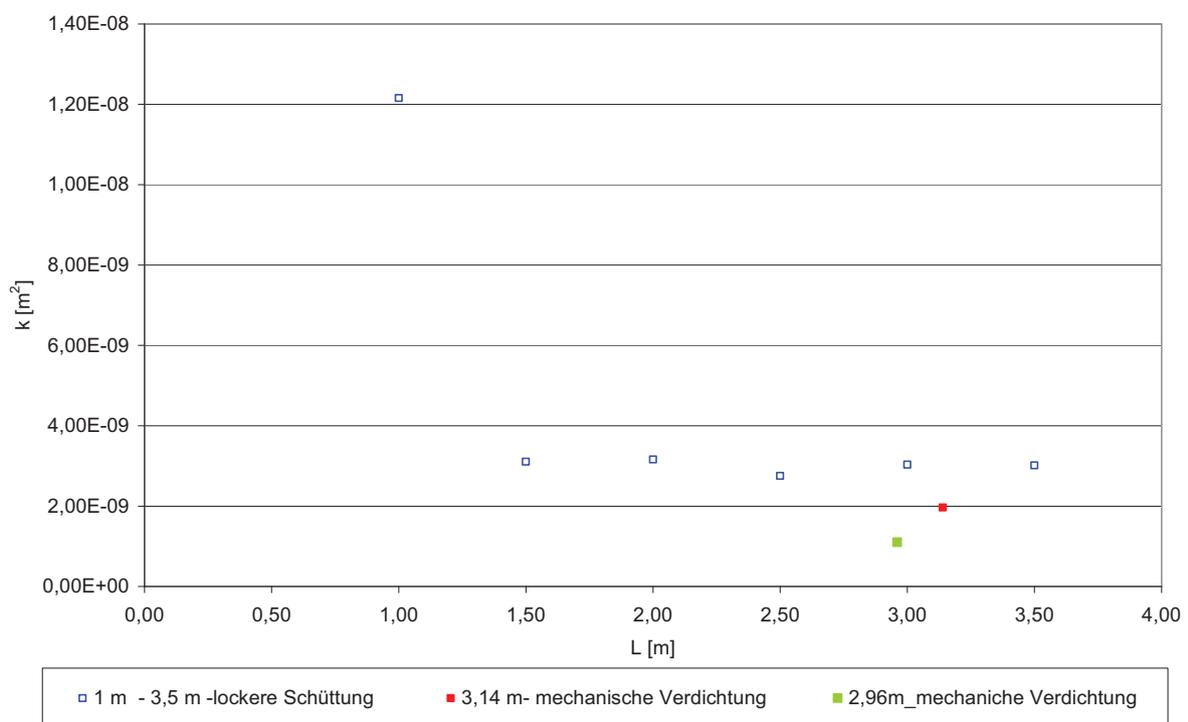


Abbildung 3: Permeabilität, zweiter Versuch

Tabelle 4: Permeabilitätsergebnisse des zweiten Versuches – mit Feinfraktion

Bemerkung	L [m]	$\omega_{Zuleitung}$ [m/s]	\dot{Q} [m ³ /s]	Δp [mmWS]	k [m ²]
lockere Schüttung	0,00	4,6	3,61E-02	1,0	0,00E+00
lockere Schüttung	0,00	26,5	2,08E-01	1,5	0,00E+00
lockere Schüttung	0,00	63,5	4,99E-01	1,7	0,00E+00
lockere Schüttung	0,00	70,0	5,50E-01	2,0	0,00E+00
lockere Schüttung	1,00	2,6	2,04E-02	4,0	1,60E-08
lockere Schüttung	1,00	3,7	2,91E-02	6,0	1,37E-08
lockere Schüttung	1,00	4,6	3,61E-02	8,0	1,22E-08
lockere Schüttung	1,00	10,0	7,85E-02	22,0	8,81E-09
lockere Schüttung	1,00	23,4	1,84E-01	72,0	6,14E-09
lockere Schüttung	1,50	3,3	2,59E-02	28,0	3,39E-09
lockere Schüttung	1,50	3,7	2,91E-02	32,0	3,31E-09
lockere Schüttung	1,50	4,7	3,69E-02	43,0	3,11E-09
lockere Schüttung	1,50	10,0	7,85E-02	80,0	3,51E-09
lockere Schüttung	1,50	16,5	1,30E-01	150,0	3,08E-09
lockere Schüttung	1,50	22,5	1,77E-01	225,0	2,79E-09
lockere Schüttung	2,00	3,7	2,91E-02	45,0	3,11E-09
lockere Schüttung	2,00	4,7	3,69E-02	56,0	3,16E-09
lockere Schüttung	2,00	10,0	7,85E-02	132,0	2,82E-09
lockere Schüttung	2,00	16,5	1,30E-01	223,0	2,75E-09
lockere Schüttung	2,00	18,8	1,48E-01	257,0	2,72E-09
lockere Schüttung	2,50	3,7	2,91E-02	60,0	2,90E-09
lockere Schüttung	2,50	4,7	3,69E-02	80,0	2,75E-09
lockere Schüttung	2,50	10,0	7,85E-02	170,0	2,74E-09
lockere Schüttung	2,50	12,5	9,82E-02	215,0	2,70E-09
lockere Schüttung	2,50	14,7	1,15E-01	255,0	2,68E-09
lockere Schüttung	2,50	15,7	1,23E-01	275,0	2,65E-09
lockere Schüttung	3,00	2,4	1,88E-02	50,0	2,72E-09
lockere Schüttung	3,00	3,7	2,91E-02	76,0	2,74E-09
lockere Schüttung	3,00	4,7	3,69E-02	87,0	3,03E-09
lockere Schüttung	3,00	5,7	4,48E-02	102,0	3,13E-09
lockere Schüttung	3,00	10,0	7,85E-02	179,0	3,12E-09
lockere Schüttung	3,00	11,7	9,19E-02	215,0	3,03E-09
lockere Schüttung	3,00	14,9	1,17E-01	279,0	2,98E-09
lockere Schüttung	3,50	3,7	2,91E-02	93,0	2,60E-09
lockere Schüttung	3,50	4,7	3,69E-02	102,0	3,01E-09
lockere Schüttung	3,50	6,9	5,42E-02	145,0	3,10E-09
lockere Schüttung	3,50	10,0	7,85E-02	210,0	3,10E-09
lockere Schüttung	3,50	12,3	9,66E-02	255,0	3,14E-09
lockere Schüttung	3,50	13,4	1,05E-01	290,0	3,00E-09
manuell verdichtete Schüttung 11.5	3,14	3,7	2,91E-02	105,0	2,07E-09
manuell verdichtete Schüttung 11.5	3,14	4,7	3,69E-02	140,0	1,96E-09
manuell verdichtete Schüttung 11.5	3,14	6,6	5,18E-02	200,0	1,93E-09
manuell verdichtete Schüttung 11.5	3,14	9,5	7,46E-02	290,0	1,91E-09
manuell verdichtete Schüttung 11.5	3,14	10,5	8,25E-02	306,0	2,00E-09
04.07.2007	2,96	2,9	2,28E-02	155,0	1,03E-09
04.07.2007	2,96	4,4	3,46E-02	220,0	1,10E-09
04.07.2007	2,96	6,0	4,71E-02	299,0	1,10E-09
04.07.2007	2,96	6,8	5,34E-02	325,0	1,15E-09
04.07.2007	2,96	7,1	5,58E-02	333,0	1,17E-09
04.07.2007	2,96	7,4	5,81E-02	335,0	1,21E-09
04.07.2007	2,96	7,7	6,05E-02	337,0	1,25E-09
04.07.2007	2,96	7,6	5,97E-02	339,0	1,23E-09

- Vergleich der Versuchsreihen mit und ohne Feingut

Abbildung 4 zeigt, dass je höher die Schüttung ist, umso weniger hat das Feingut Einfluss auf die Permeabilität, da die Verdichtung durch das Eigengewicht immer größer wurde.

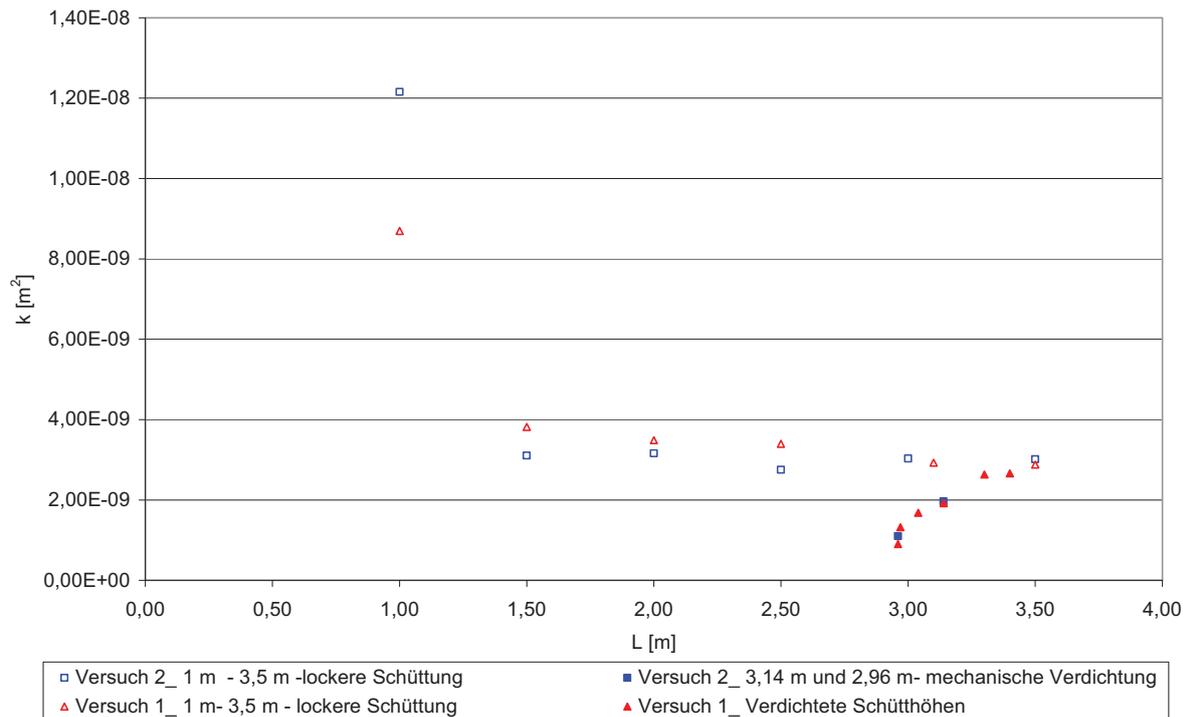


Abbildung 4: Vergleich der Versuche 1 und 2

- Weitere notwendige Berechnungen der Permeabilität

Für die anschließende Computersimulation wurde eine Reynoldszahl von max. 10 – also eine laminare Strömung vorausgesetzt. Da sich aus den Messungen höhere Reynoldszahlen ergaben, mussten die Geschwindigkeiten neu berechnet werden.

Anhand des zweiten Versuches wird die Vorgangsweise erläutert:

Wie in Abbildung 5 gezeigt wird, kann durch Extrapolation der Fitkurven auf eine Reynoldszahl von zehn gerechnet werden.

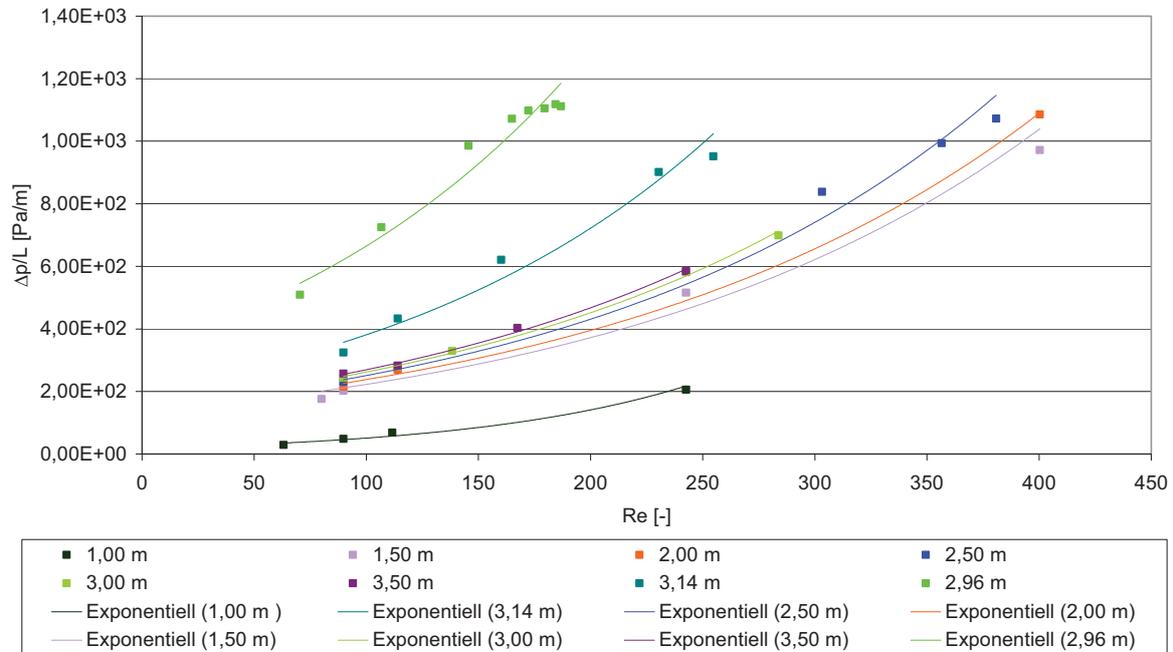


Abbildung 5: Abhängigkeit des $\Delta p/L$ der Schüttung gegen die Reynoldszahl

Durch die Gleichungen 4 bis 6 (Beschreibung der Parameter siehe Tabelle 5) wurde die dabei herrschende Geschwindigkeit in der Schüttung ermittelt. Durch Einsetzen der Geschwindigkeit in die Gleichung von D'Arcy (siehe Gleichung 3) erhielt man die Durchlässigkeiten in einer laminaren Strömung.

Mit Hilfe der Gleichungen 4-6 konnte die Geschwindigkeit berechnet werden.

Formel 4: Reynoldszahl

$$Re = \frac{\omega_0 \cdot d_h}{\varepsilon \cdot \nu_{Luft}}$$

Formel 5: mittlere Geschwindigkeit

$$\omega = \frac{\omega_0}{\varepsilon}$$

Formel 6: Hydraulischer Durchmesser

$$d_h = \frac{2}{3} \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot d_p$$

Tabelle 5: Parameter zur Berechnung der Geschwindigkeit bei Re=10

<i>Parameter</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Einheit</i>
Re	Reynoldszahl	[-]
d _h	Hydraulischer Durchmesser	[m]
d _p	Partikeldurchmesser	[m]
ε	Lückengrad	[-]
ω ₀	Leerrohrgeschwindigkeit	[m/s]
ω	Rohrgeschwindigkeit	[m/s]
ν	kinematische Viskosität	[m ² /s]

Formel 7: Effektive Permeabilität

$$\frac{1}{k_{eff}} = \frac{1}{k_1} \cdot \frac{L_1}{L} + \frac{1}{k_2} \cdot \frac{L_2}{L} + \frac{1}{k_3} \cdot \frac{L_3}{L} + \dots + \frac{1}{k_n} \cdot \frac{L_n}{L}$$

Unter Anwendung von Gleichung 7 (vgl. [3]) konnte für die Schüttung mit Feingut Abbildung 6 dargestellt werden, wobei die Widerstände der Permeabilitäten gegen die Schütthöhen aufgetragen wurden.

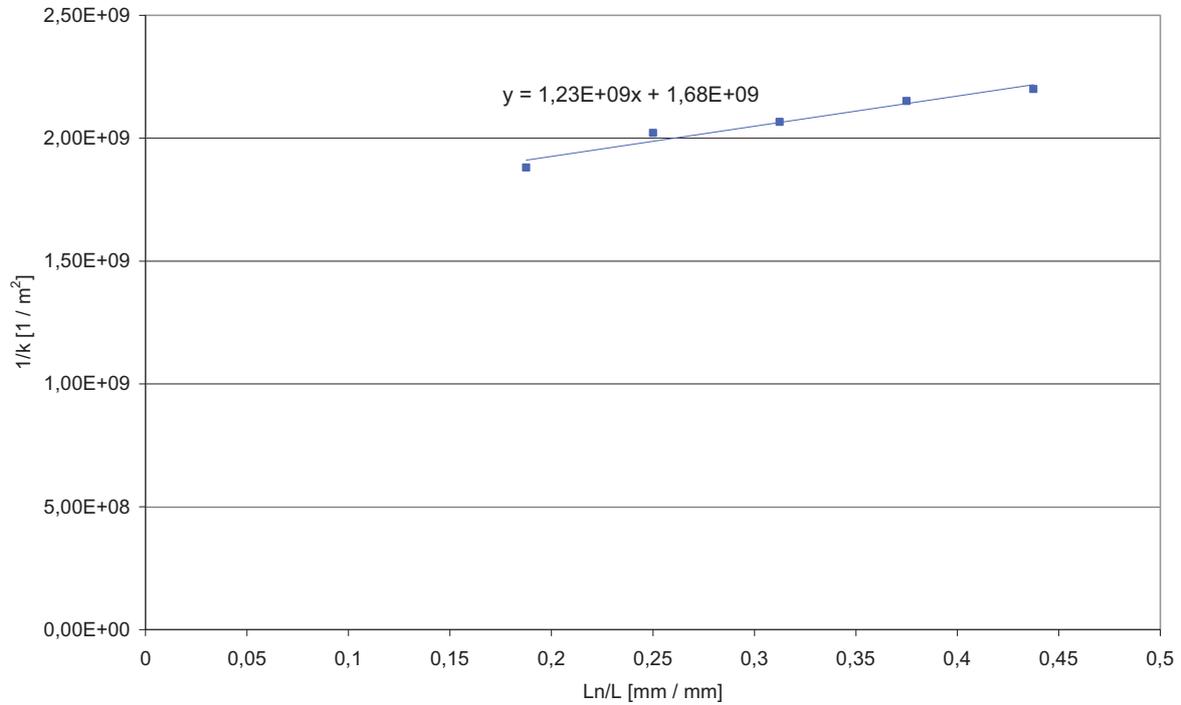


Abbildung 6: Permeabilitätswiderstände des Versuches mit feiner Fraktion

Durch Einsatz der Fitgleichung von Abbildung 6 ergab sich für eine Schütthöhe von 8000mm eine Permeabilität von $3,44 \text{ E-}10\text{m}^2$.

Durch selbige Vorgangsweise konnte für den Versuch ohne Feinfraktion Abbildung 7 dargestellt werden. Durch die Gleichung in der Abbildung wurde für eine Schütthöhe von 8000mm eine Durchlässigkeit von $3,55 \text{ E-}10 \text{ m}^2$ ermittelt.

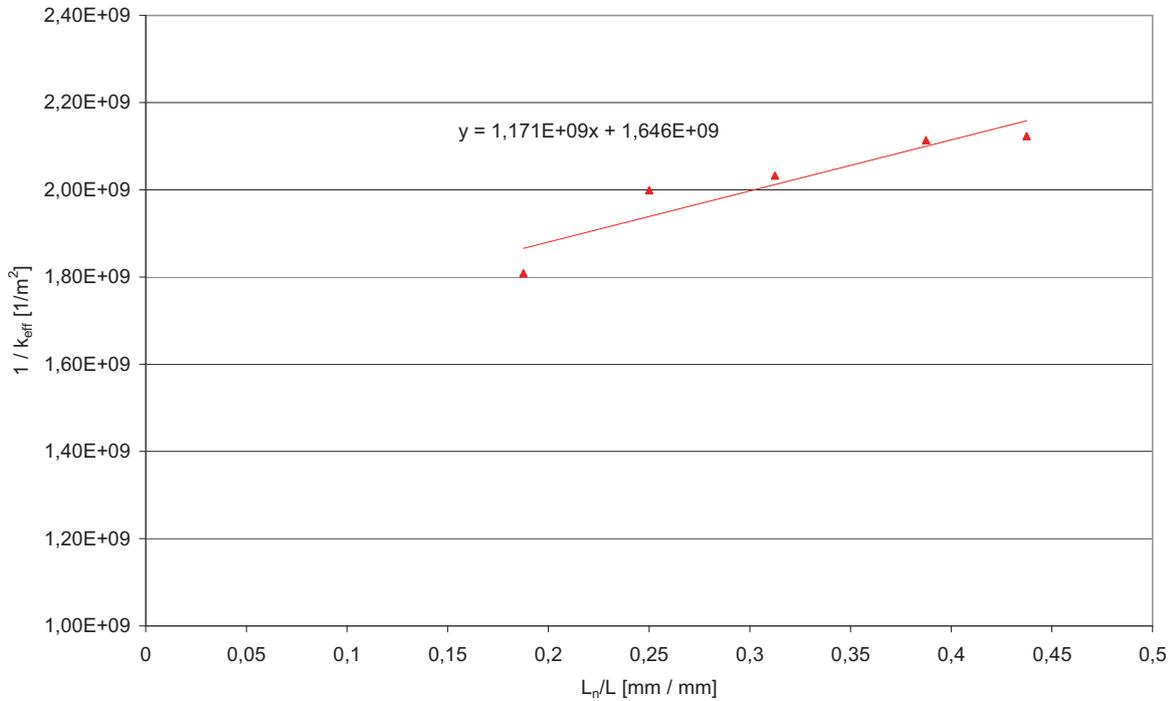


Abbildung 7: Widerstände der Permeabilitäten ohne Feinfraktion

- Vergleich der Versuchsergebnisse bei einer Reynoldszahl von 10

Abbildung 8 zeigt den Vergleich der Permeabilitätswiderstände in Abhängigkeit der Schütthöhe. Dadurch ist zu sehen, dass, wie erwartet, die Versuche ohne Feinfraktion eine höhere Permeabilität aufweisen.

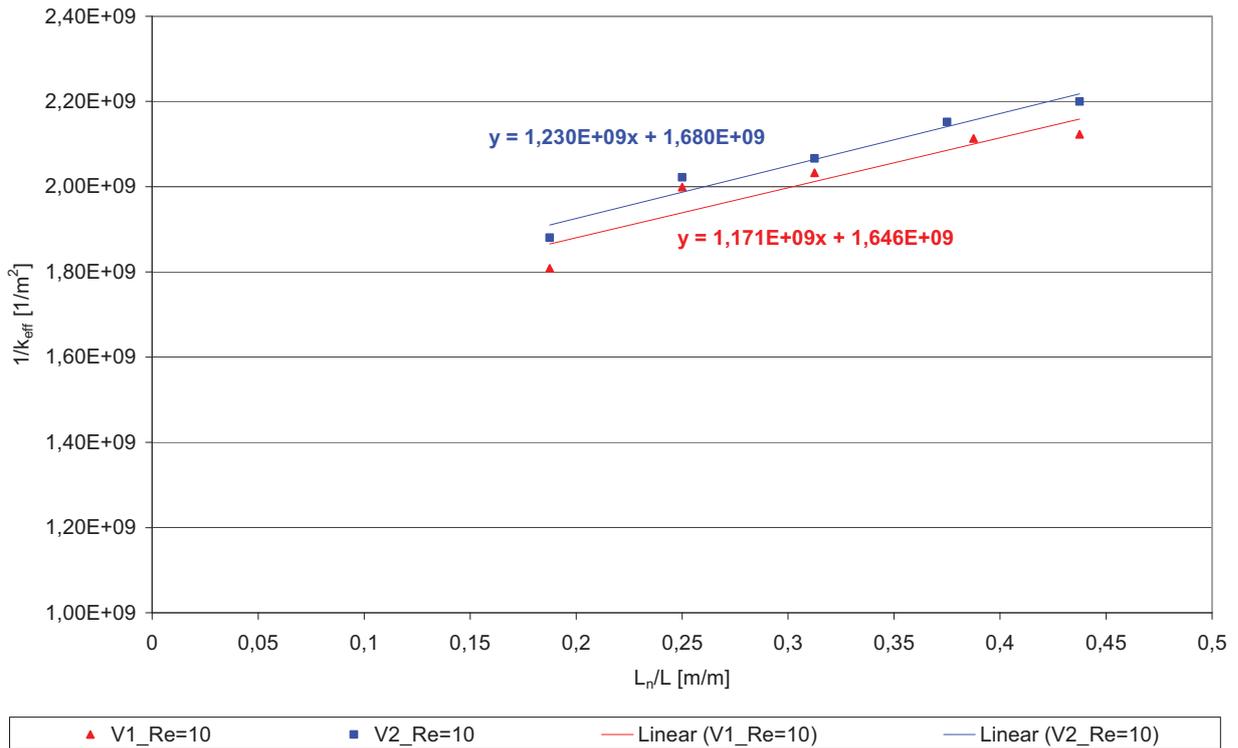


Abbildung 8: Widerstände der Permeabilitäten der beider Versuchsreihen

4 Computersimulationen

In diesem Kapitel werden die Computersimulationen für das untersuchte Lager besprochen. Im Softwareprogramm musste nur die theoretische Permeabilität durch die durch Experimente ermittelte Durchlässigkeit ersetzt werden. Alle anderen Parameter und Randbedingungen wurden bereits in der Diplomarbeit von Walkner festgelegt.

Die, aus der Simulation, erhaltenen Daten wurden mit Hilfe von Matlab bearbeitet und zu einem Bild umgewandelt. Es entstanden 2-dimensionale Temperaturprofile oder Geschwindigkeitsfelder sowie zeitliche Verläufe gegen die Zeit.

Einige Abbildungen der Geschwindigkeitsfelder in diesem Kapitel inkludieren einen vergrößerten Ausschnitt der Schüttung um die Strömungsintensität und -richtung besser zu erkennen. Zu erwähnen ist, dass in den vergrößerten Abbildungen nur die Pfeile vergrößert wurden und somit diese an der Oberfläche durch das Programm Matlab abgeschnitten wurden.

4.1 Versuchsreihe ohne Feingut

Die sehr niedrige Permeabilität von $3,55E-10m^2$ verhindert die Strömung im Schüttgut weitgehend. In den Abbildungen 43 bis 46 werden sowohl 2-dimensionale Temperaturprofile als auch die dazugehörigen Geschwindigkeitsfelder der Lagerschüttung dargestellt.

In Abbildung 9 ist die Feststofftemperatur in Abhängigkeit des Ortes am 6. Tag dargestellt. Die maximale Temperatur liegt hier etwa bei $34^{\circ}C$.

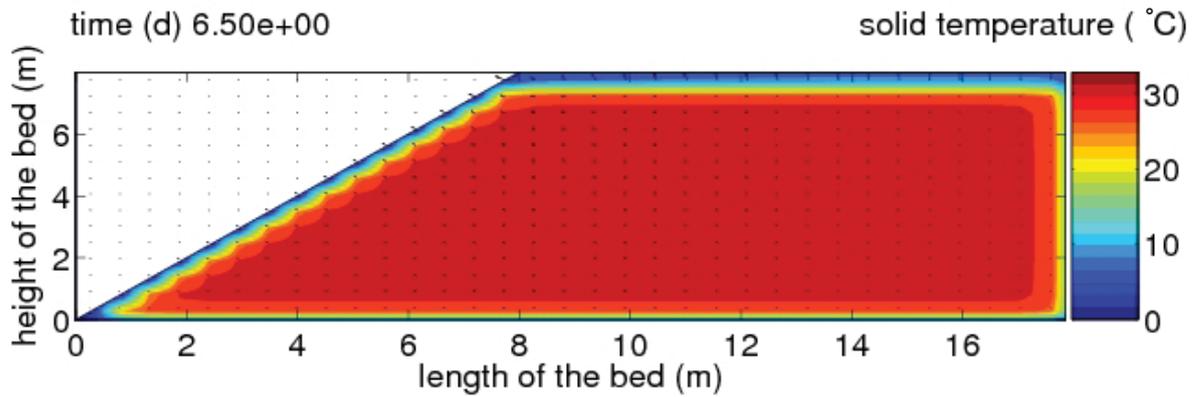


Abbildung 9: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch ohne Feinfraktion; Tag 6,5

Abbildung 10 zeigt das Geschwindigkeitsfeld des 6. Tages in der Schüttung ohne Feinfraktion.

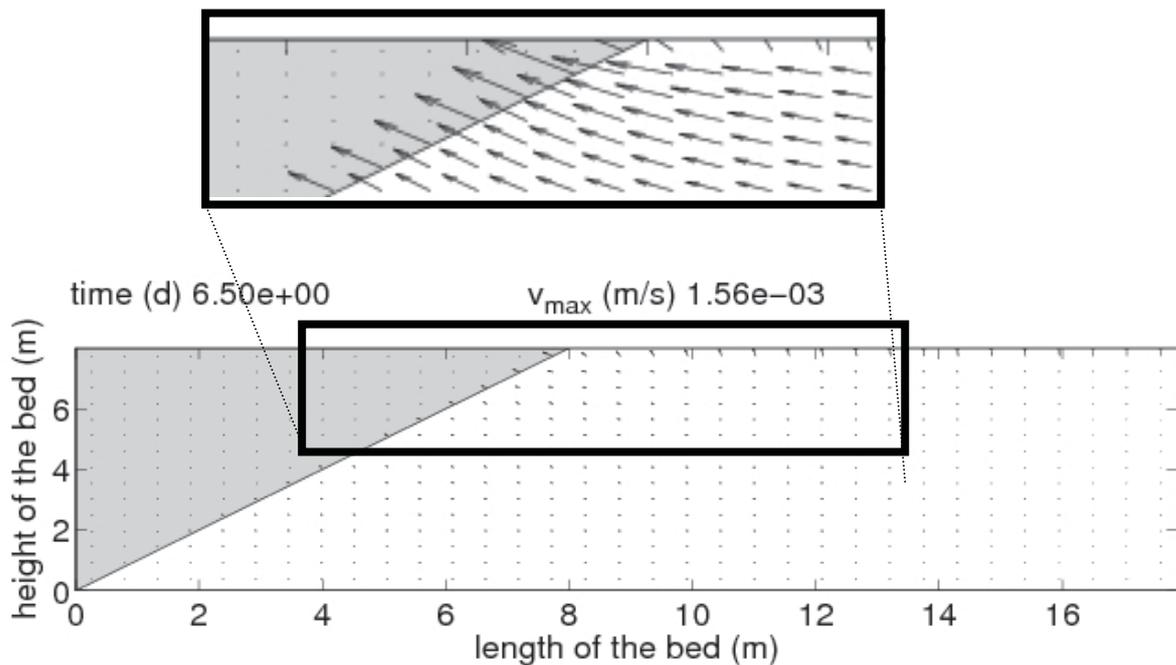


Abbildung 10: Geschwindigkeitsfeld; Versuch ohne Feinfraktion; Tag 6,5

Die Abbildung 11 zeigt das Temperaturprofil des 78. Tages. Vergleicht man diese Abbildung mit jener des 6. Tages, so erkennt man, dass die Schüttung nach innen abkühlt.

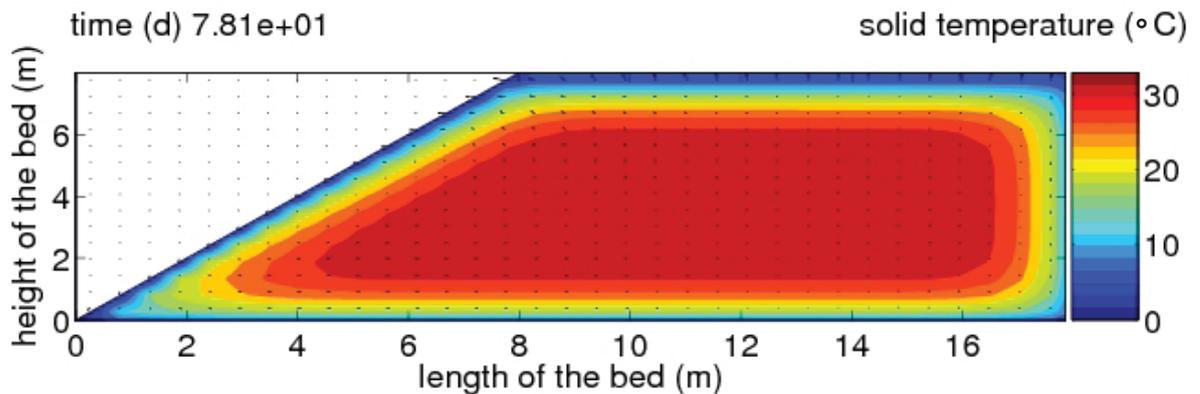


Abbildung 11: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch ohne Feinfraktion; Tag 78

Auch in Abbildung 12 wird sowohl das gesamte Geschwindigkeitsfeld als auch ein vergrößerter Ausschnitt gezeigt. In der Vergrößerung zeigt sich ein sehr interessantes Geschwindigkeitsfeld. Die Luft wird unten an der Böschung angezogen und im oberen Bereich der Böschung als auch an der nicht gewinkelten Oberfläche wieder ausgestoßen.

Vergleicht man die Maximalgeschwindigkeiten der Abbildung 10 und Abbildung 12, ist ersichtlich, dass diese am 78. Tag um einiges geringer ist.

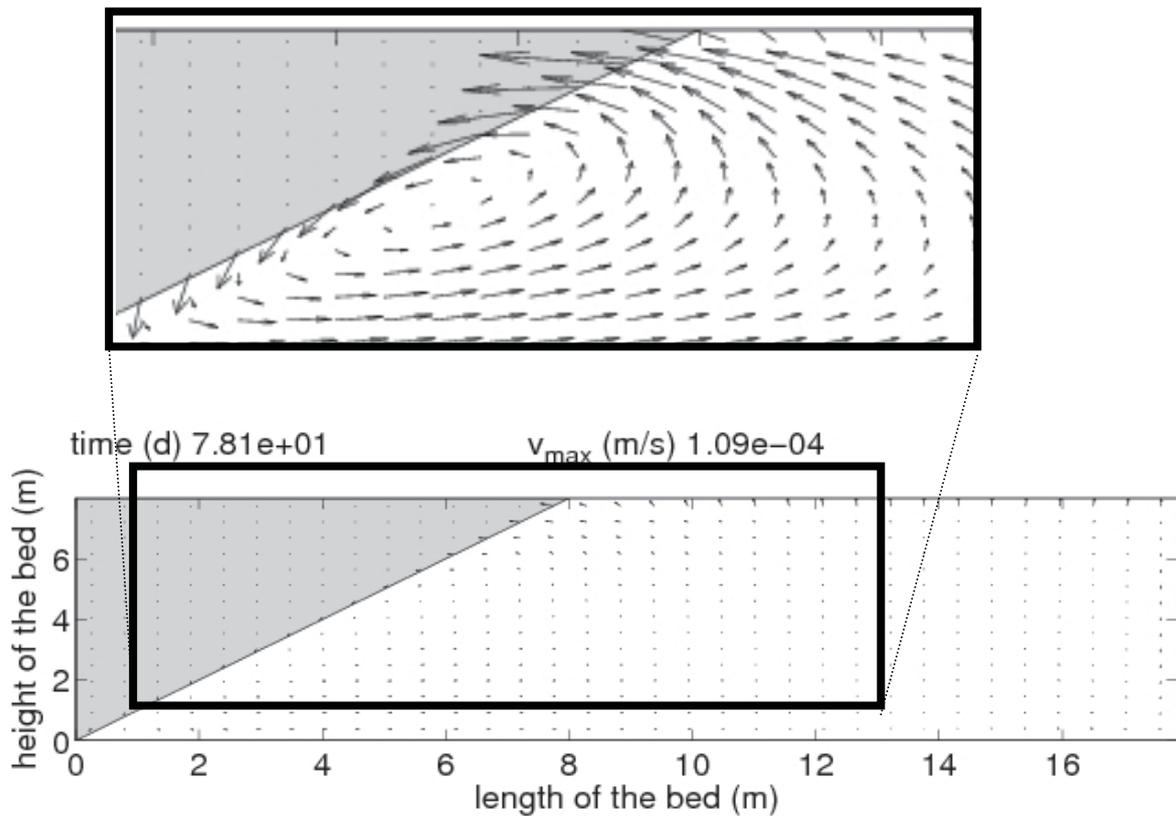


Abbildung 12: Geschwindigkeitsfeld inkl. Vergrößertem Ausschnitt, der ersten Versuchsreihe; 78. Tag

In einer weiteren Simulation wurde anstatt eines Wertes ein Permeabilitätsprofil eingebunden. Die 2-dimensionale Schüttung wurde in der Höhe in 15 sogenannte Grids geteilt, wobei jeder Grid einer bestimmten Permeabilität entsprach. So konnte sicher gestellt werden, dass in Bereich der dichtesten Schüttung die Permeabilität den geringsten Wert zeigte und die Durchlässigkeit der Reaktionspartner mit steigender Höhe kontinuierlich abnahm. So ergaben sich folgende Abbildungen 47 bis 51.

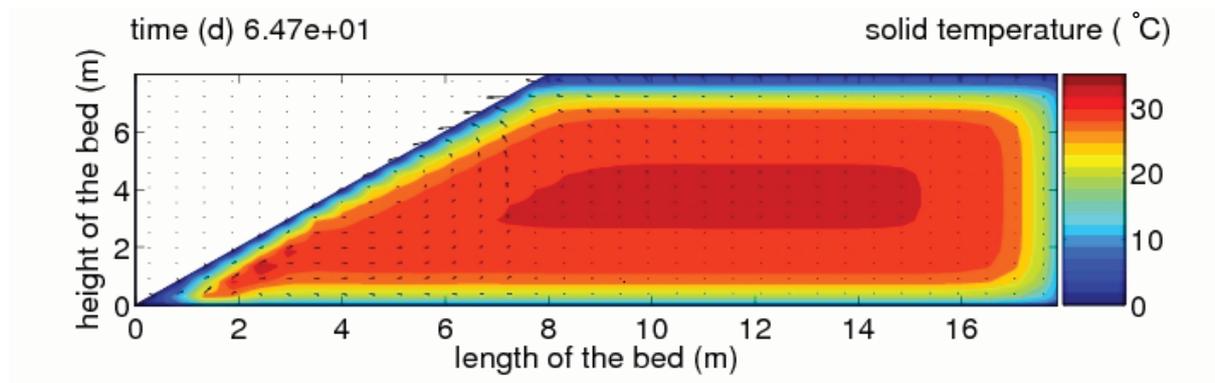


Abbildung 13: Temperaturquerschnitt nach 64 Tagen unter Einbindung eines Permeabilitätsprofils

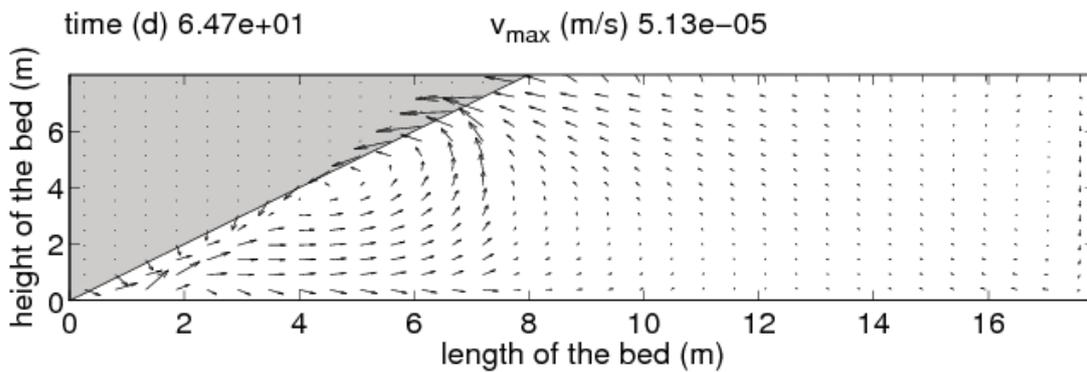


Abbildung 14: Geschwindigkeitsfeld des 64. Tages unter Einbindung des Permeabilitätsprofils

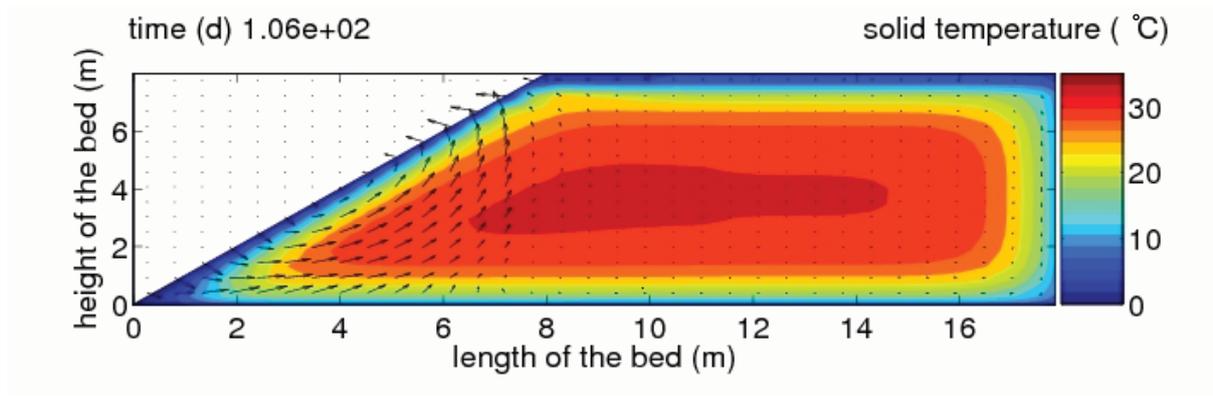


Abbildung 15: Temperaturquerschnitt nach 106 Tagen unter Einbindung eines Permeabilitätsprofils

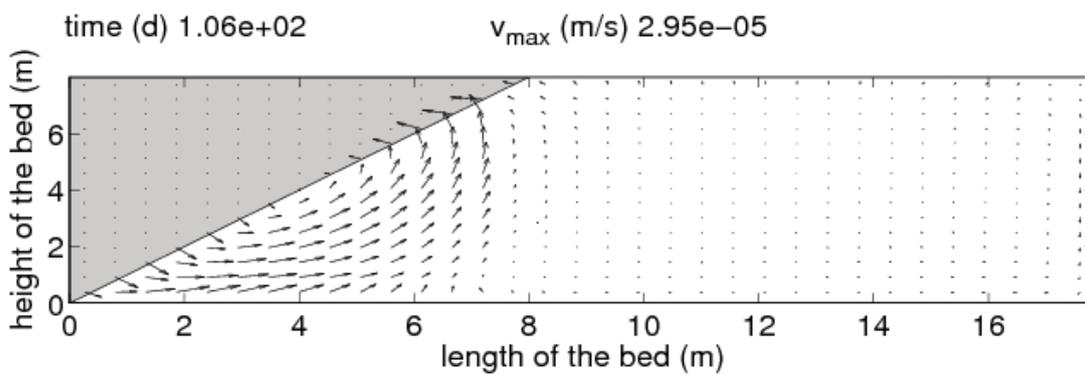


Abbildung 16: Geschwindigkeitsfeld des 106. Tages unter Einbindung des Permeabilitätsprofils

Abbildung 17 stellt den zeitlichen Verlauf der maximalen Feststofftemperatur in der Schüttung dar. Es ist zu sehen, dass die maximale Temperatur sich am ca. 60. Tag einstellt. Durch die geringe Permeabilität zeigt sich eine ebenso geringer Temperatursteigerung in der Schüttung, die vermutlich durch biogene Stoffe hervorgerufen wurde.

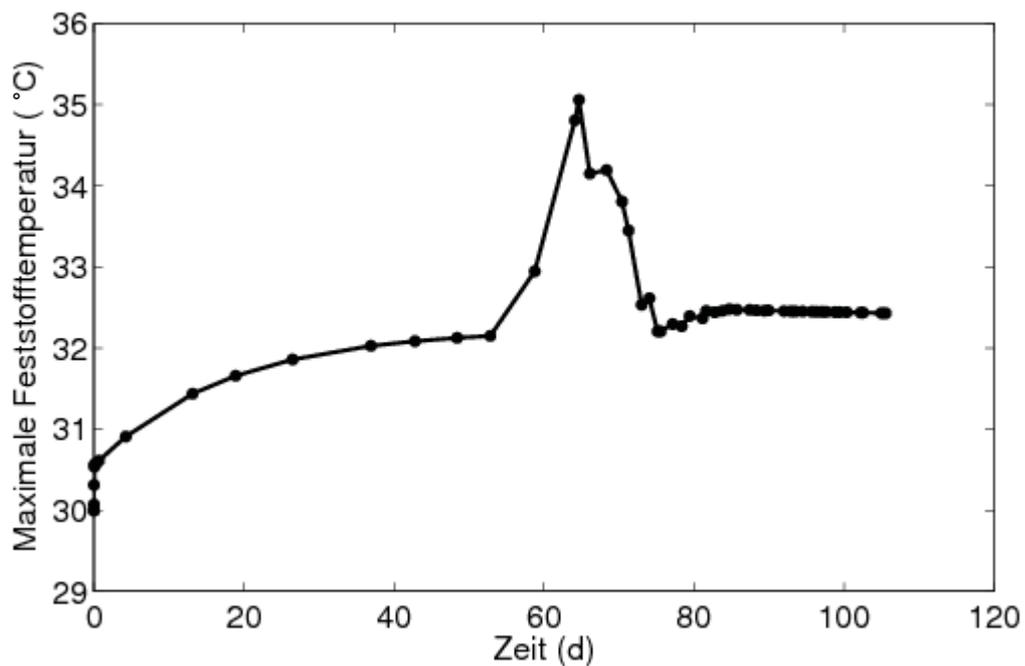


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der maximalen Temperatur des Feststoffes

4.2 Versuchsreihe mit Feingut

Abbildung 18 zeigt die Temperatur der Schüttung des Versuches mit Feingut am ersten Tag. Im Inneren der Schüttung findet man eine konstante Temperatur von 30°C. Nur am Rand kühlt das Kunststofflager durch die Umgebungstemperatur etwas ab.

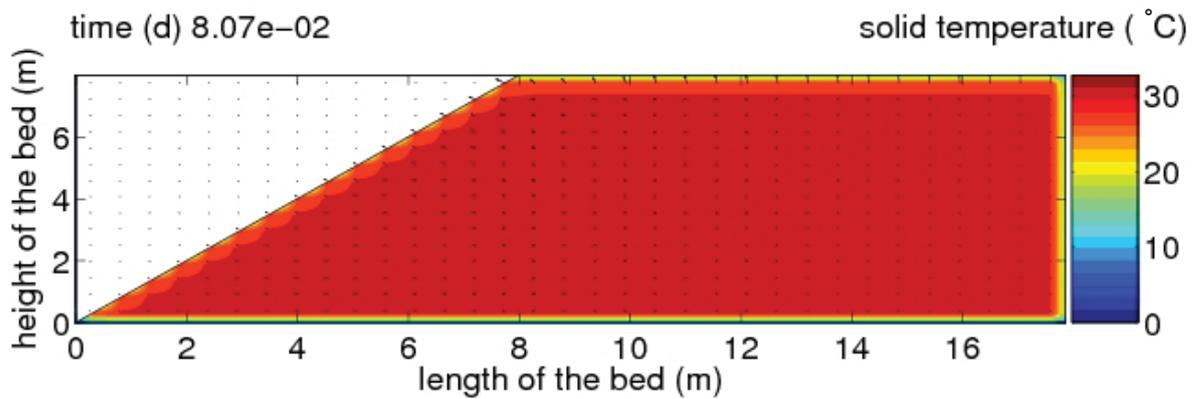


Abbildung 18: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch mit Feingut; 1.Tag

Abbildung 19 zeigt das Geschwindigkeitsfeld des ersten Tages. Dabei ist zu sehen, dass die Gase im Inneren der Schüttung nach außen entweichen.

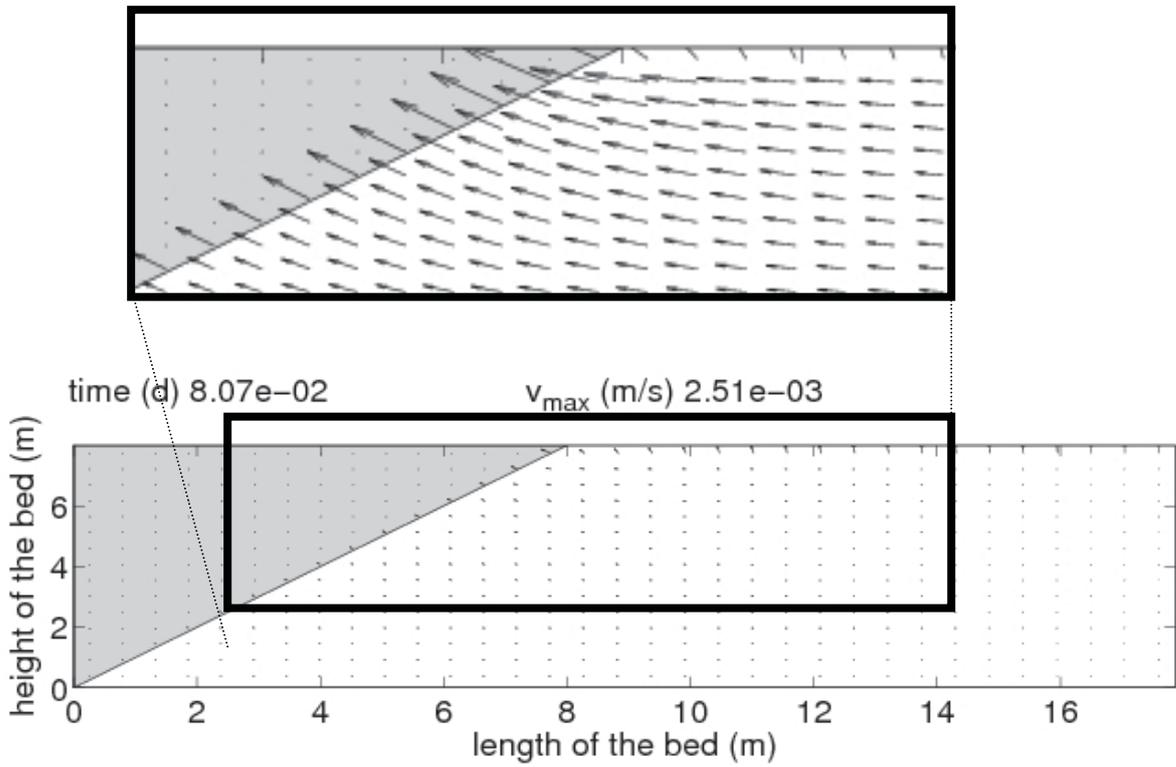


Abbildung 19: Geschwindigkeitsfeld des ersten Tages der zweiten Versuchsreihe

Nach 57 Tagen zeigt sich, wie in Abbildung 20 dargestellt, ein von außen nach innen abkühlende Lagerschüttung. Am äußern Rand herrschen Temperaturen um den Nullpunkt.

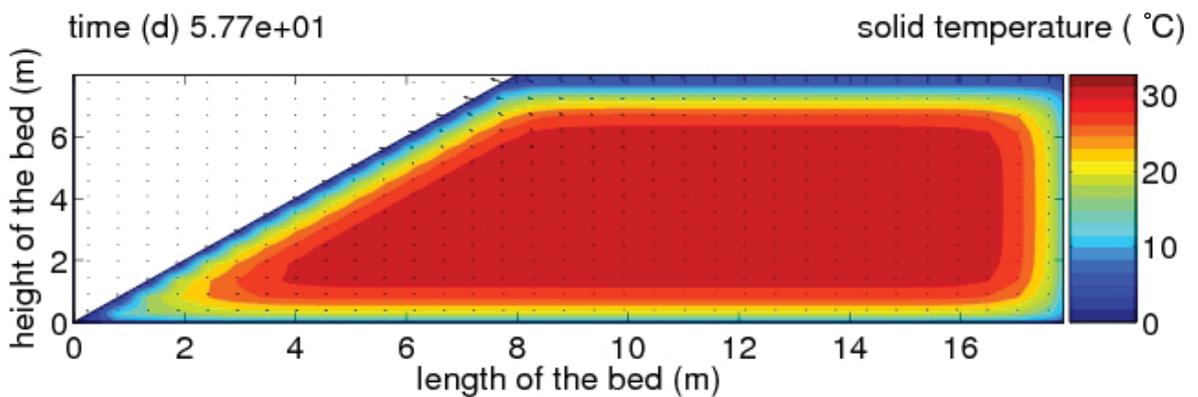


Abbildung 20: Profil der Temperatur der Schüttung; Versuch mit Feingut; 57.Tag

Wie schon in den Versuchen ohne Feinfraktion (siehe 4.1) verändert sich auch in der Versuchsreihe mit Feingut (siehe Abbildung 21) das Geschwindigkeitsfeld mit der Zeit. Vergleicht man die Maximalgeschwindigkeiten zu Beginn der Simulation mit Abbildung 21, so sieht man, dass auch hier die maximale Geschwindigkeit sinkt.

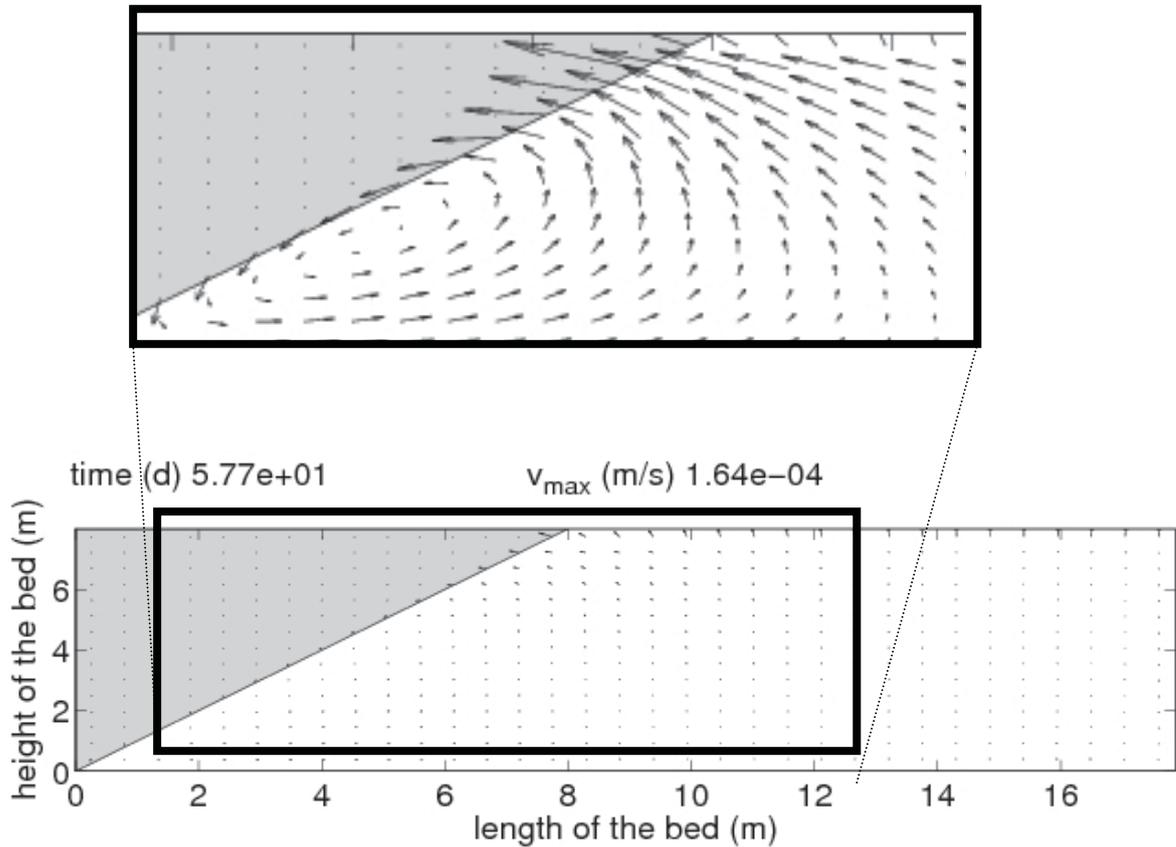


Abbildung 21: Geschwindigkeitsfeld; 57. Tag; Versuch ohne Feinfraktion

4.3 Vergleich der Computersimulationen

In diesem Kapitel werden die Computersimulationen mit jenen der Diplomarbeit von Walkner verglichen. In seiner Diplomarbeit wurde eine theoretische Permeabilität von $5,0E-9m^2$ angenommen, also ca. um eine 10er Potenz höher als in der vorliegenden Arbeit.

In Abbildung 22 ist der Verlauf der maximalen Temperatur gegen die Zeit aufgetragen. Es bildet sich ca. am 20. Tag ein Temperaturmaximum von etwa $65^{\circ}C$ aus. Dieses wird größtenteils durch die biologische Aktivität hervorgerufen..

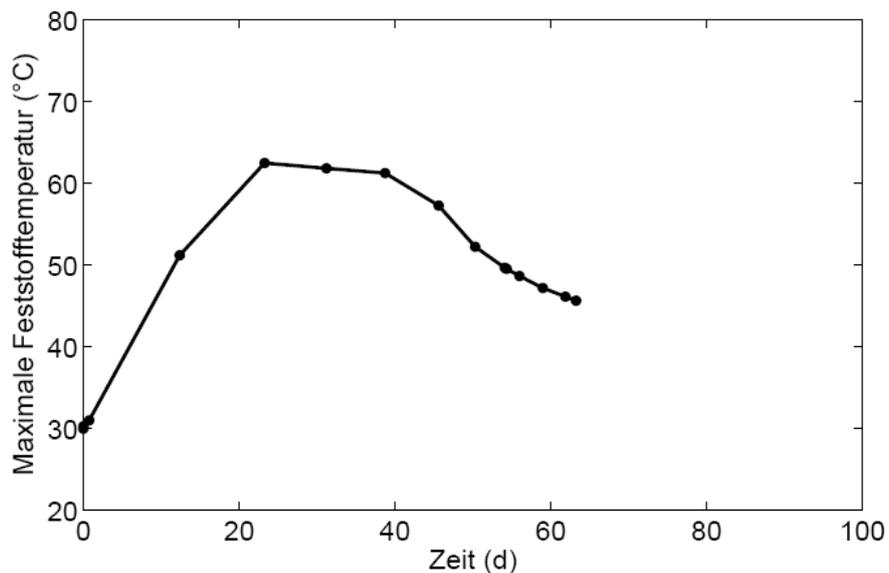


Abbildung 22: Zeitliche Verläufe der maximalen Feststofftemperatur im Lager bei einem Lückengrad von 30%

Abbildung 23 zeigt das Temperaturprofil inklusive Geschwindigkeitsfeld des 49. Tages. Es zeigt sich ein sehr unterschiedliches Bild im Vergleich zu den Simulationsergebnissen der vorliegenden Arbeit. Durch die höhere Permeabilität kann das Schüttgut ausreichend mit gasförmigen Reaktionspartnern versorgt werden und es bilden sich sogenannte hot spots aus (hier in orange).

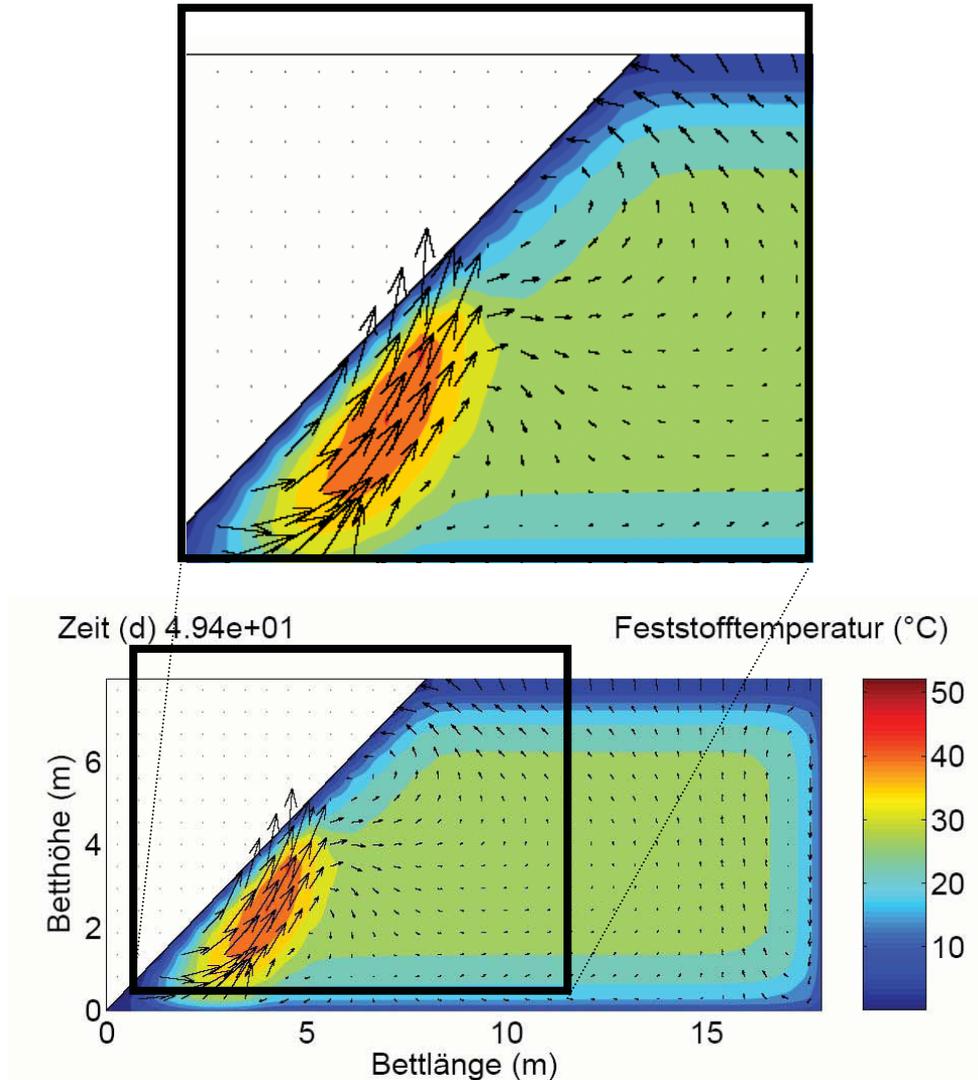


Abbildung 23: Feststofftemperatur und Geschwindigkeitsfeld im Lager nach sieben Wochen bei einem Lückengrad von 30%

5 Interpretation

Die Messung der Permeabilität zeigte, dass das untersuchte Material sehr schlecht durchströmbar ist; dies resultiert vermutlich aus dem hohen Anteil an folienartigen Stoffen, die eine Durchströmbarkeit weitgehend verhindert. Ein weiterer Grund für die geringen Werte wäre die durch das Eigengewicht verursachte Verdichtung der Lagerschüttung.

Eine mögliche Fehlerquelle wäre der geschätzte Lückengrad sowie die relativ große Korngrößenverteilung der Schüttung, welche in die Berechnung der Permeabilität einbezogen werden musste.

Der Lückengrad wurde auf 30% geschätzt, da sich die Schüttung nach ca. 3 Wochen um 540mm (entspricht ca. 15%) senkte und sich die Durchströmbarkeit immer noch sehr gut bemerkbar machte.

Zur Berechnung des hydraulischen Durchmessers wurde als d_{50} -Korngröße für die Schüttung ohne Feingut ein Wert von 50mm und für die Schüttung mit Feingut eine Korngröße von 45mm herangezogen.

In den Computersimulationen zeigten sich nur minimale Temperatursteigerungen, die durch mikrobiologische Reaktionen hervorgerufen wurden. Man kann davon ausgehen, dass durch die geringe Steigerung der Temperatur keine weiteren Reaktionen induziert werden.

Aus dem Vergleich der Schüttung mit Feinfraktion mit jener ohne Feinfraktion ist ersichtlich, dass erstere schon am 57. Tag dasselbe Temperaturprofil zeigt wie die Schüttung ohne Feingut des 78. Tages. Aus den Abbildungen kann man schließen, dass die Energie, die durch biogene Substanzen entsteht nicht ausreicht um eine dauerhafte Selbsterwärmung zu induzieren.

Vergleicht man die zwei Computersimulationen der Schüttung ohne Feinfraktion so ist zu erkennen, dass die Simulation mit einem Permeabilitätsprofil ein „breiteres“ Strömungsfeld aufweist, da die Durchlässigkeit ein breiteres Spektrum vorweist. Aus dem Geschwindigkeitsfeld resultiert daher ein ebenso „breiteres“ Temperaturprofil, das sich besonders in Abbildung 13 bemerkbar macht.

6 Anhang

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] Walkner R.: Untersuchung des Selbsterwärmungsverhaltens eines Lagers für aufbereiteten Substitut (ASB).Diplomarbeit, Technische Universität Graz, 2005
- [2] Poppenwimmer M.: Reaktionswärmestrom von Flüchtigen und Teer in Abhängigkeit der Zeit bei der Pyrolyse von festen Brennstoffen, Diplomarbeit, Technische Universität Graz, 2007
- [3] Scheidegger A. E.: The physics of flow through porous media, Third edition, University of Toronto press

6.2 Bildokumentation



Abbildung 24: U-Rohr, Gebläse und Hohlzylinder mit Zuleitung zur Bestimmung der Permeabilität



Abbildung 25: Ansicht des befüllten Hohlzylinders von der beströmten Seite nach Umlegen der Versuchsanlage



Abbildung 26: Entleerung des Hohlzylinders mit Hilfe eines Schaufelbaggers



Abbildung 27: Profil des geschredderten Abfalls in Lannach



Abbildung 28: Nach 3 Wochen Lagerung setzte sich die Schüttung um 54 cm



Abbildung 29: Beispiel der mechanischen Verdichtung; zeigt auch die Verankerung an die Wand

XI. HOTDISC technology

Informationsbroschüre der Firma FLSMIDTH

Online im WWW unter URL: www.flsmidth.com/NR/ronlyres/0D6AAEF8-C66F-46FB-A54D-7DAA41E6BC84/16938/HOTDISC.pdf. Stand Februar 2008.

HOTDISC technology

- Simple to operate
- Lumpy waste derived fuel
- Efficient combustion
- Reduced operational cost



FLSMIDTH

HOTDISC description

MAIN FEATURES

- **Simplicity**
- **Efficient combustion**
- **High temperature combustion**
- **Lumpy waste derived fuels firing**
- **Multiple waste stream firing**
- **Environmental benefits**
- **Reduced operational costs**
- **No impact on kiln availability**

The HOTDISC is a simple combustion device, integrated with the preheater and calciner systems.

It is a large, moving hearth furnace consisting of:

- An annular, refractory-lined combustion chamber with a stationary casing, a roof, and a central post. The bottom of the combustion chamber is a horizontal, refractory lined rotary disc.
- A wall upon which scraper segments are mounted. The wall, itself, divides the annular combustion chamber between the waste feed inlet and the residual ash outlet.
- A slewing ring which rests on a support and carries the rotary disc. The slewing ring is toothed on the inside and driven by two geared motors with frequency drive. By means of the frequency drives, the speed can be varied from 1-4 revolutions/hour.

The support for the central post, slewing ring, and casing rest on a common bottom frame. The two outer supports are provided with openings to enable access for maintenance and inspection. There are also openings in the central post to draw in ambient cooling air from below the rotary disc by means of natural draught.

The casing has inlets in the roof for:

- Tertiary air, including waste and materials from the second lower-most cyclone. The latter materials are used for controlling the temperature in the combustion chamber during normal operation.
- Cold raw materials, for possible emergency cooling of the reactor.

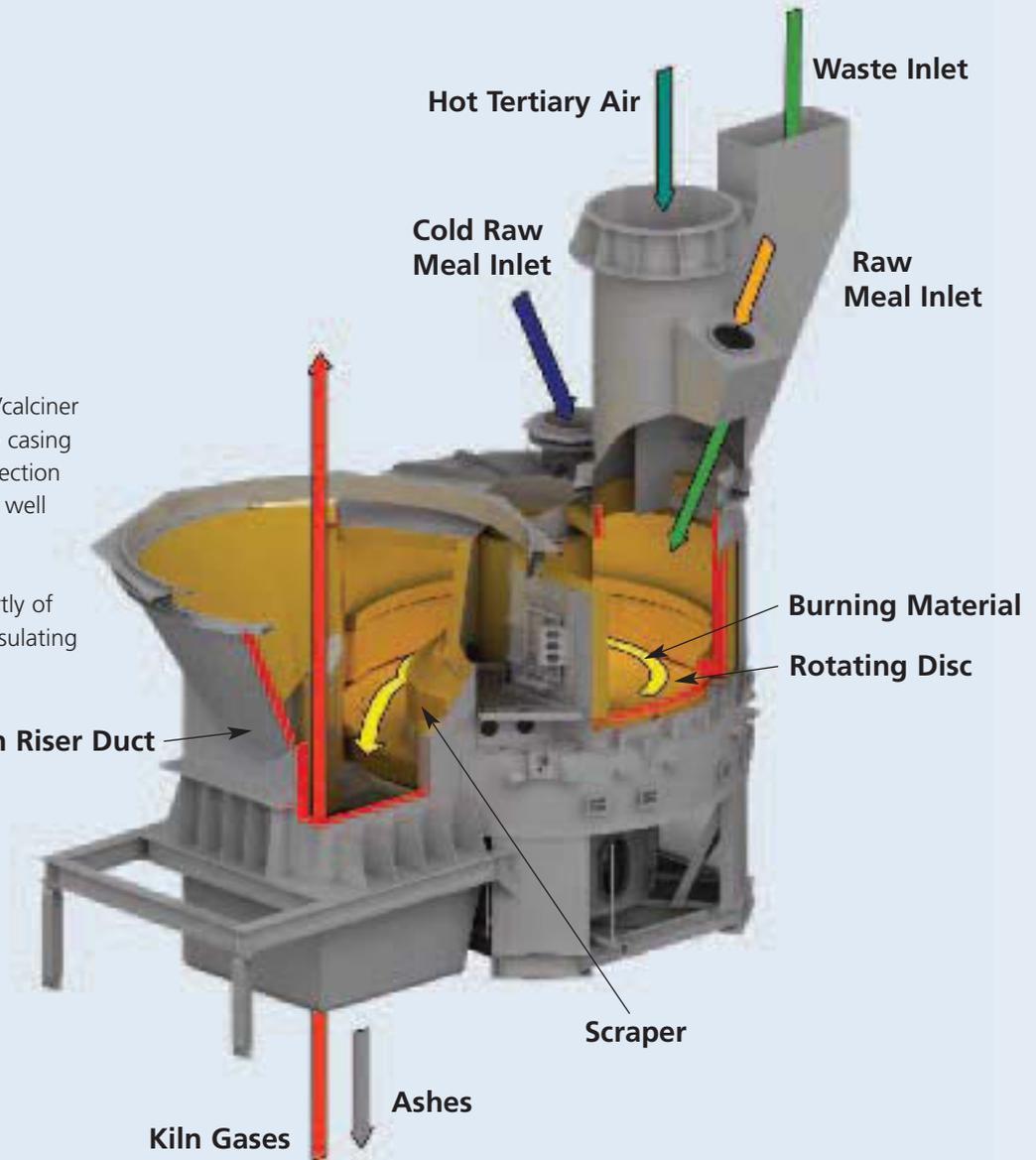


The side outlet to the kiln riser duct/calcliner is a large opening in the casing. The casing also features various manholes, inspection holes, doors, and clean-out holes as well as various temperature and pressure measurements.

The lining of the disc consists partly of bolted-on segments and partly of insulating and wear-resistant castables.

The reactor is surrounded by various platforms to give access to inspection doors and instruments.

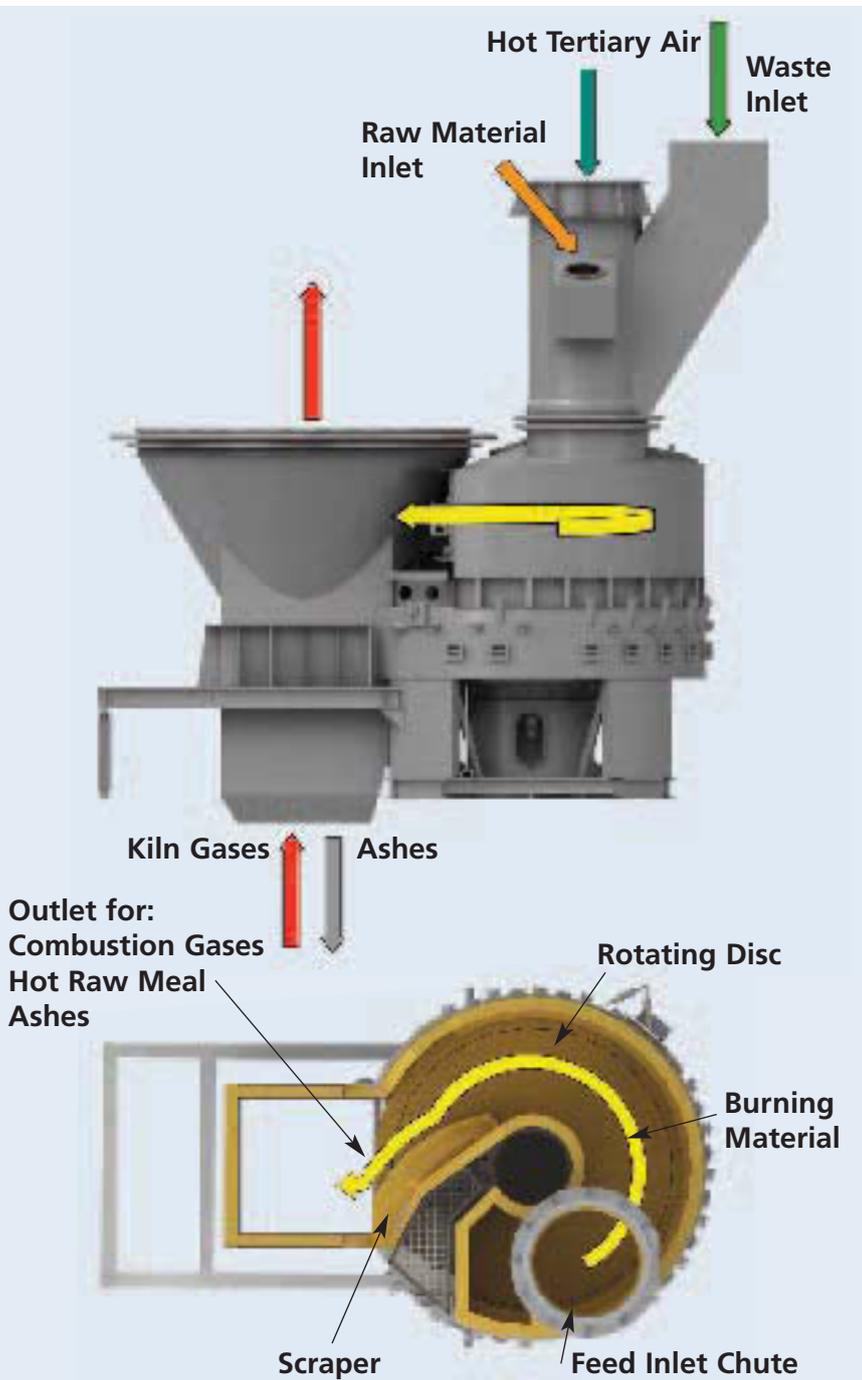
Kiln Riser Duct



Disc ready for installation/assembly



HOTDISC reactor after installation in Norway (6.0m diameter x 2.5m height)



Operational principle

The waste fuels are introduced via the tertiary air duct to the slowly rotating disc where they start to burn in fully oxidizing conditions when meeting the hot tertiary air.

The burning waste is transported approx. 270 degrees on the disc until the position of the scraper, where the remaining ash and partly calcined materials are discharged into the riser duct.

Heavy combustion residues fall down into the kiln inlet, while the lighter fractions and the combustion gases move upwards into the calciner.

The variable speed of the rotating disc provides for optimisation of the retention time of the waste on the disc, in accordance with the properties of the waste fuels.

Hence, proper burnout of the waste fuels is ensured.



Internal view of the HOTDISC after refractory installation

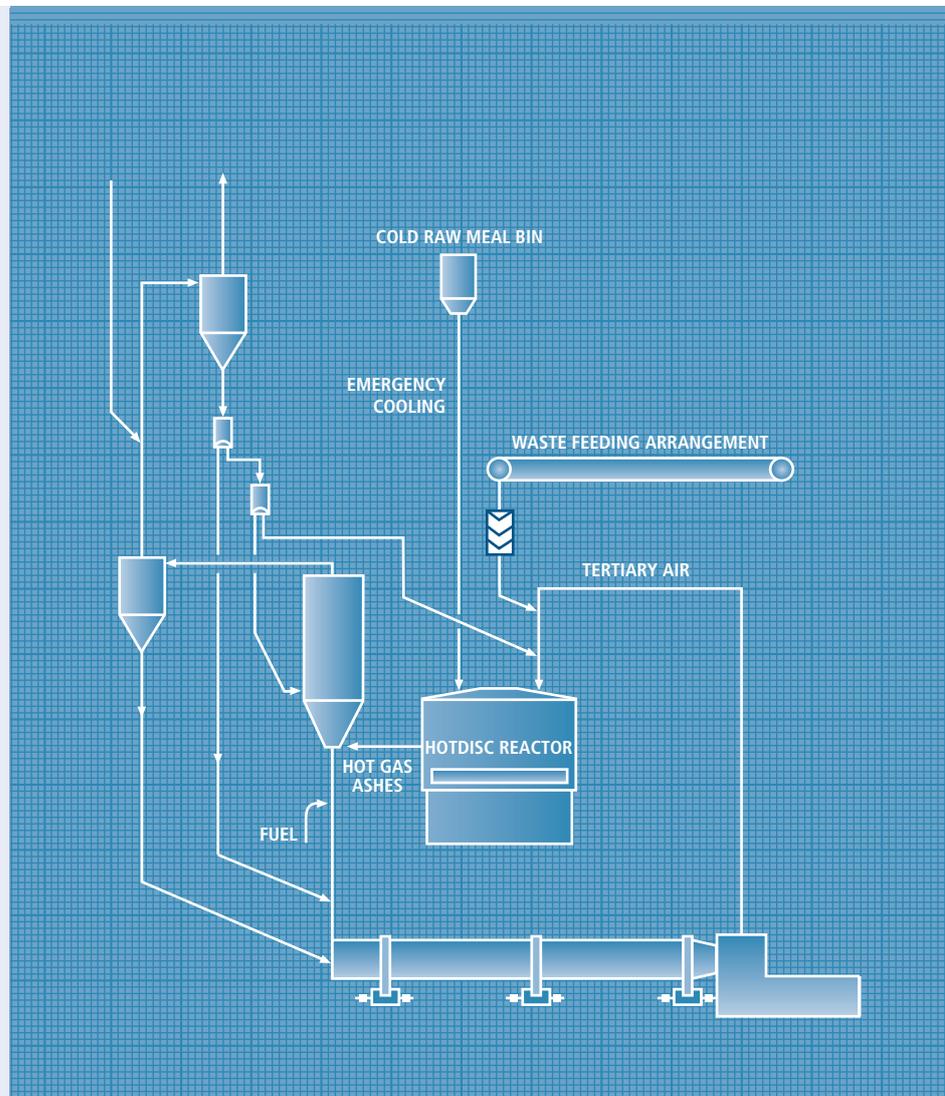


Internal view of the HOTDISC during operation with whole tires

Control philosophy

The operation control is simple:

- Control of the temperature of the outlet gases from the HOTDISC into the riser duct - approximately 1050° C - by addition of materials from the second lowermost cyclone. The control takes place by operating the gate dividing the materials between the HOTDISC and the calciner.
- The waste feed rate to the HOTDISC is kept constant and the temperature in the bottom cyclone is controlled by adjusting the feed rate of the fuel, usually coal, to the calciner.



Safety precautions

In case of power failure or during other situations where the kiln or ID fan suddenly stops, the waste fuels on the disc will continue to burn.

To stop the combustion process, an amount of cold raw meal will be introduced to the reactor from a bin placed above the reactor.

This makes it possible to quickly extinguish the combustion process at any time and thus to avoid any unacceptable emissions during upset conditions.



Basic features



Whole tires



Cut tires



Impregnated wood waste

The basic features of the HOTDISC technology are:

A: A large variety of solid waste fuels can be used, including whole tires. It is thus a versatile machine, which eliminates the need for finer and expensive shredding of lumpy sized waste materials.

Fuels tested in the HOTDISC

1. Shredded old tires
2. Old Tires (cut into pieces)
3. Whole tires from cars
4. Telephone poles (cut into suitable slabs)
5. Bleaching Earth
6. Paper sludge
7. Lime stabilized oil sludge (from cleansing of tankers)
8. Old car fragments (upholstery, dashboards etc.)
9. Refuse Derived Fuel (produced from municipal garbage), loose or compacted
10. Impregnated wood waste

B: The heat content of the waste fuels is utilized in an optimal way for partly calcining in the HOTDISC itself and for heating the tertiary air to the calciner. Burning of waste fuel on top of the charge in the rotary kiln is thus practically avoided, which minimizes volatile circulation, blockages, leading to increased utilization of WDF.

C: The HOTDISC operates under overall oxidizing combustion conditions; which promotes nearly complete combustion and minimizes the negative affects to gaseous emission rates. The excellent combustion conditions lead to increased utilization of WDF.

Operation experience

The first full scale HOTDISC was commissioned in 2002 at a Norwegian cement works operating a 1600 tpd FLSmidth ILC kiln system

The design substitution rate at 40% of the calciner fuel was achieved and a Performance Test Certificate was signed on May 2003.

The HOTDISC has now been in continuous operation since October 2002, steadily burning about 2 ton/hr of tire pieces with size of 200-300 mm.

Also short term trials have been successfully carried out, including co-firing of whole car tires, whole truck tires and chipped wood waste.

Further trials with other waste products are planned for, thus expanding the experience base of this versatile waste combustion reactor.

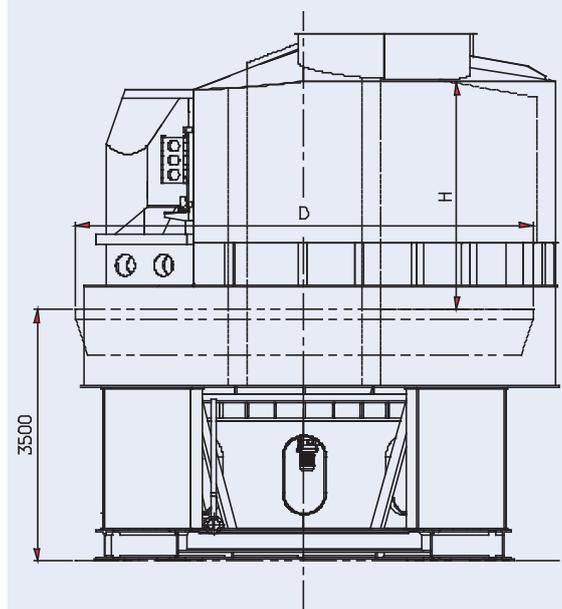
The operation experiences can be summarized as follows:

Experience with the first HOTDISC reactor

- The HOTDISC reactor has proved very easy to operate.
- Feeding of 2,0 - 3 ton/h of tire pieces is achievable, this corresponding to a substitution of the calciner fuel of 40 - 60%.
- Due to the composition of the raw materials, at this specific plant the HOTDISC is usually operated at 2 ton/h, replacing 2 ton coal/h or 40% of the calciner coal consumption.
- Emissions of NOx have dropped by about 15 %, while emissions of CO are practically unchanged.
- No negative impact has been noted to the clinker quality.
- No negative impact on kiln availability.

HOTDISC dimensions

HOTDISC types	Disc diameter m	Internal height m	Effective disc area m ²	Power kW
50-200	5	2	10,9	1.5
50-250	5	2,5	10,9	1.5
50-315	5	3,15	10,9	1.5
63-250	6,3	2,5	19,3	2.2
63-315	6,3	3,15	19,3	2.2
63-400	6,3	4	19,3	2.2
80-315	8	3,15	33,2	4.4
80-400	8	4	33,2	4.4
80-500	8	5	33,2	4.4





The HOTDISC is a safe, simple and effective combustion device that maximizes the substitution of waste fuels in an environmentally sound manner

Data in this brochure is intended for preliminary project planning only. Manufacturer reserves the right to modify equipment details and/or specifications without notice.



www.flsmidth.com

Up-to-date addresses of worldwide subsidiaries and sales offices are available from our website

DENMARK

F.L.Smidth A/S
Vigerslev Allé 77
DK-2500 Valby
Copenhagen
Tel: +45 36 18 10 00
Fax: +45 36 30 18 20
E-mail: info@flsmidth.com

USA

F.L.Smidth Inc.
2040 Avenue C
Bethlehem, PA 18017-2188
Tel: +1 610-264-6011
Tel: +1 800-523-9482
Fax: +1 610-264-6170
E-mail: info-us@flsmidth.com

INDIA

F.L.Smidth Ltd.
Capital Towers
180, Kodambakkam High Road
Nungambakkam
Chennai 600 034
Tel: +45 – 44-52 191234
Fax: +91 – 44-2827 9393
E-mail: indiainfo@flsmidth.com

