

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing./DI) der
Studienrichtung „Industrieller Umweltschutz- und Verfahrenstechnik“ an der
Montanuniversität Leoben.

„MayRec“ Recyclinganlage der Zukunft

erstellt für

Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft

Anton Mayer GmbH

Komptech GmbH

Vorgelegt von:

Christoph Winkler, BSc

0935113

Betreuer:

Mag. Dr. Martin Wellacher

Leoben, November 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

AFFIDAVIT

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

DANKSAGUNG

Der allergrößte Dank gebührt meinen Eltern, die mir dieses aufwendige Studium ermöglicht haben. Außerdem bedanke ich mich für die Unterstützung meiner Freundin Hanna, die mir immer den Rücken gestärkt hat, mich motiviert hat und mir trotz des Jungfamilienstressses immer Zeit für das Studium und die Diplomarbeit verschafft hat.

Dank gebührt auch meinem Betreuer Martin Wellacher, von dem ich einiges lernen konnte, der sich immer Zeit für mich genommen hat und mit dem es eine Freude war zusammenzuarbeiten.

Als letztes bedanke ich mich bei Lisa Marie Krois, die mich vor allem bei den mühsamen Arbeiten dieses Projektes unterstützt hat.

Kurzfassung

„MayRec“ – Recyclinganlage der Zukunft

Der Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben führte gemeinsam mit den Unternehmen Anton Mayer GmbH und Komptech GmbH das Projekt „MayRec“ im Zeitraum November 2015 bis Jänner 2017 durch. Es galt die Recyclingquote der mechanischen Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlage (MA 2) von einem ein- auf einen zweistelligen Prozentsatz zu heben. In einem Vorprojekt, welches zu einem großen Teil Gegenstand folgender Arbeit darstellt, waren für die Firma Mayer Grundlagen für den Umbau der Anlage zu erarbeiten und für die Firma Komptech Verschleiß-Durchsatztests am Einwellenzerkleinerer (Baureihe: Terminator) durchzuführen. Diese Grundlagen umfassten eine Erhebung des Ist-Zustandes der Anlage, Parameter zur Charakterisierung der Materialeigenschaften und eine Massenbilanz der verschiedenen Produktionsprogramme. Darüber hinaus wurden auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse vier neue Verfahrensvarianten zur Erhöhung der Qualität der Output Materialien, erstellt. Eine dieser Varianten wurde durch eine Verfahrenssimulation mit mobilen Maschinen erprobt.

Abstract

MayRec – Recycling plant of the future

The Project MayRec was realized by the Chair of Waste Processing Technology and Waste Management (AVAW) in cooperation with Anton Mayer GmbH and Komptech GmbH. The aim of the project was the modernization of the RDF (refuse derived fuel) production plant owned by Anton Mayer GmbH. The project focused on the extraction of recyclable materials and the production of high quality refuse derived fuel for cement plants and waste incineration plants. To achieve these goals a good knowledge of the waste materials was required ahead, within and afterwards the treatment. This master thesis describes the actual situation of the Anton Mayer GmbH waste treatment plant. Therefore chemical and physical characteristics of the waste flow were determined, mass balances for several production programs and tracer tests were performed. Based on this perceptions four new process variants were generated, to increase the quantity of the gained recycling materials as well as the quality of the RDF. Together with the Anton Mayer GmbH and the Komptech GmbH parts of these process variants were proved and tested with mobile machines. In addition an abrasion test of the slow-running, single-shaft shredder “Terminator” of the Komptech GmbH was performed and discussed.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung	4
1.2 Zielsetzung	4
2 THEORIE	5
2.1 Ersatzbrennstoffe in Österreich.....	5
2.2 Verfügbarkeit von Brennstoffen aus Abfällen.....	8
2.3 Einsatzgebiete und Klassifizierung der EBS	8
2.4 Problemquellen von Ersatzbrennstoffen	11
2.4.1 Brandrisiko bei Lagerung	11
2.4.2 Störstoff Chlor.....	11
2.4.3 Wirtschaftliche Probleme	12
3 STAND DER TECHNIK DER MECHANISCHEN AUFBEREITUNGSANLAGE 214	
3.1 Maschinen MA 2	14
3.1.1 Komptech Terminator 5000 SE.....	17
3.1.2 Ecoblock Windsichter (Nihot).....	17
3.1.3 Lindner Power Komet 2800.....	18
3.2 Programme der MA 2.....	20
3.3 P&I.....	21
3.4 Auswertung der Störfälle.....	22
3.5 Vorprobenahme	24
3.6 Siebanalyse Aufbereitungslabor	27
3.7 Tracertests.....	28
3.7.1 Tracertest mit Aluminiumdosen.....	28
3.7.2 Tracertest mit PVC Rohren und Folien.....	28
3.8 Material- und Wertstoffanalysen	30
3.8.1 Sortierung von Gewebeabfällen I (Input).....	30
3.8.2 Sortierung von Gewebeabfällen II (Input).....	31
3.8.3 Sortierung von Gewerbeabfällen III (Input).....	31
3.8.4 Sortierung von Output Materialien.....	31
3.8.5 Restabfallzusammensetzung der Steiermark.....	32
3.9 Massenbilanzen	33
3.10 Verschleißtest am Komptech Terminator.....	35

3.10.1	Aufgabenstellung	36
3.10.2	Versuchsträger	36
3.10.3	Versuchsbedingungen	37
3.10.4	Messmethodik.....	39
3.11	Konzepte zur Erprobung	40
3.11.1	Konzepte Stufe I	40
4	ERGEBNISSE.....	46
4.1	Ergebnisse der Vorprobenahme	46
4.2	Ergebnisse der Siebanalysen	49
4.3	Ergebnisse der Laboranalysen	49
4.4	Erkenntnisse des Tracertests	50
4.5	Ergebnisse der Sortieranalysen	51
4.5.1	Sortieranalysen der Gewerbeabfälle (Input).....	51
4.5.2	Sortieranalysen der Output Produkte der Materialien Mainburner, Kalzinator und Siebdurchgang.....	55
4.6	Ergebnisse des Verschleißtests am Terminator	59
5	DISKUSSION.....	73
5.1	Vorprobenahme	73
5.2	Tracertest.....	75
5.3	Sortieranalysen – Gewerbeabfall Input.....	76
5.4	Sortieranalysen-Output.....	79
5.5	Verschleißtests am Komptech Terminator	81
5.5.1	Auswertung Maschinendaten (Massendurchsatz, Stromaufnahme, Volumendurchsatz).....	81
5.5.2	Auswertung der Siebanalysen, Korngrößenverteilungen, Zerkleinerungsverhalten.....	83
5.5.3	Auswertung des Zahnverschleißes	83
5.5.4	Resümee des Verschleißtests	84
6	VERZEICHNISSE	85
6.1	Literatur.....	85
6.2	Abkürzungsverzeichnis	86
6.3	Tabellen	86
6.4	Abbildungen	87
ANHANG.....

1 Einleitung

Das Recycling, also das stoffliche Wiederverwerten von Abfällen, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Ist es bei Rohstoffen wie Metall, Glas und Papier bereits seit Jahren Stand der Technik, einen Großteil zu rezyklieren, wird es zunehmend interessanter auch Kunststoffe, und Holz stofflich, und nicht wie bisher thermisch, zu verwerten. Eine stoffliche Wiederverwertung von Kunststoffen bedingt einen hohen verfahrenstechnischen Aufwand, da eine sortenreine Trennung maßgeblich die Qualität des Sekundärrohstoffes und damit den Marktpreis beeinflusst. Die treibende Kraft um Innovationen in diesem Bereich auf den Markt zu bringen ist, den bereits bestehenden technologischen Vorsprung gegenüber anderen Industriestaaten zu halten und weiter auszubauen. Gesetzlich sind die Bemühungen von einer Abfallwirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft zu gelangen, in der EU-Abfallrahmenrichtlinie festgehalten.

„Die EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) legt als oberstes Ziel der Abfallpolitik fest, dass nachteilige Auswirkungen der Abfallerzeugung und -bewirtschaftung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu minimieren sind. Darüber hinaus ist auf die Reduktion des Ressourcenverbrauchs abzielen und die praktische Umsetzung der Abfallhierarchie zu fördern.“ [1.1]

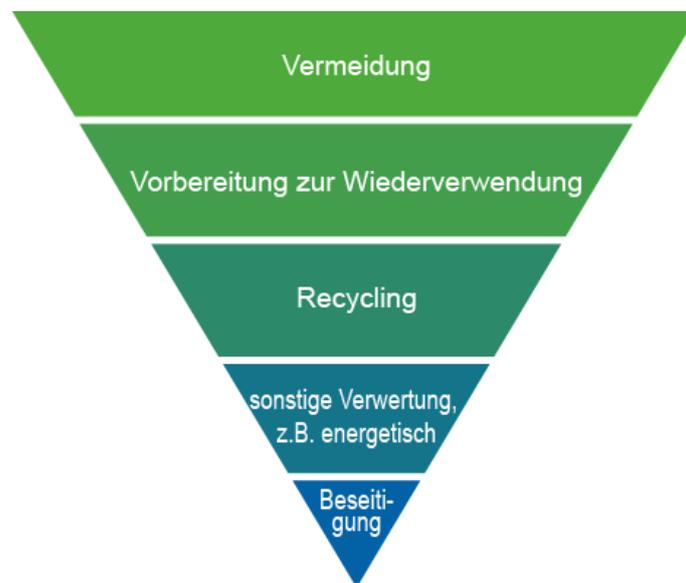


Abbildung 1: Europäische fünfstufige Abfallhierarchie [1.2]

Um den verfahrenstechnischen und legislativen Herausforderung gewachsen zu sein und weiterhin Technologie und Know How Führer zu sein, wurde von Anton Mayer GmbH das Projekt „MayRec“, in Zusammenarbeit mit Komptech und der Montanuniversität Leoben ins Leben gerufen.

1.1 Problemstellung

Die EU-Abfallrichtlinie 2008/98/EG legt einen Rechtsrahmen für den Umgang mit Abfällen in der Europäischen Union fest und wurde mit der AWG-Novelle 2010, BGBl I Nr. 9/2011 im nationalen österreichischen Recht umgesetzt. Ein wichtiger Eckpunkt dieser Richtlinie ist die fünfstufige Abfallhierarchie (Vermeidung-Vorbereitung zur Wiederverwendung-Recycling-sonstige Verwertung-Beseitigung), siehe Abbildung 1. Somit steht die stoffliche Verwertung (Recycling) über der thermischen Verwertung (sonstige Verwertung) und ist dieser vorzuziehen. In diesem Sinne sind bei der Erneuerung der Abfallaufbereitungsanlage der Anton Mayer GmbH die Möglichkeiten eine stoffliche Verwertung in den Vordergrund zu stellen zu erforschen.

1.2 Zielsetzung

Mit dem Projekt „MayRec“ will das Unternehmen Anton Mayer GmbH die zehn Jahre alte Ersatzbrennstoffproduktionsanlage MA 2 teilerneuern und somit den Weg zu einer Recyclinganlage der Zukunft ebnen. Im Zuge des Vorprojektes werden vom Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft (AVAW) Grundlagen erarbeitet, die im weiteren Verlauf als Basis für Verfahrenssimulationen und Investitionsüberlegungen herangezogen werden sollen. Folgende Ziele waren zu Projektbeginn als Rahmen dieser Diplomarbeit vorgesehen:

1. Recherche und Einarbeitung in Technik und Praxis von Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlagen und Recyclinganlagen,
2. Begleitung und Dokumentierung des Standes der Technik der EBS-Produktionslinie MA 2,
3. Charakterisierung der In- und Output Materialien mit Hilfe des Labors für Umwelt und Prozessanalytik des AVAW,
4. Verschleißtests am Einwellenzerkleinerer „Terminator“ der Komptech GmbH,
5. Erstellung der Verfahrenssimulation und Berechnen vier möglicher Verfahrensvarianten,
6. Organisation der Versuche mit mobilen Maschinen des Projektpartners Komptech GmbH und Doppstadt GmbH,
7. Begleitung der Versuche.

2 Theorie

In folgendem Theorieteil sollen grundsätzliche Überlegungen der Ersatzbrennstoffnutzung (in weiterer Folge EBS genannt), deren Definition, Herstellung und damit einhergehende Probleme erläutert werden, zu welchen Schadstoffbelastungen, Lagerungsschwierigkeiten und wirtschaftliche Aspekte zählen. Außerdem soll eine Übersicht der Einsatzgebiete und Klassifizierungen der EBS gegeben werden.

2.1 Ersatzbrennstoffe in Österreich

Das Inkrafttreten der Deponieverordnung (Dep VO) 2004 am 01.01.2004 stellte einen Wendepunkt der österreichischen Abfallwirtschaft dar. Ab diesem Zeitpunkt war es nicht mehr zulässig unbehandelte Abfälle, die einen Gesamtkohlenstoffanteil (TOC – engl. für total organic carbon) von mehr als 5 % bzw. einen Brennwert > 6.600 kJ/kg aufweisen, zu deponieren. Daraus hat sich auf der einen Seite eine getrennte Sammlung vieler Abfallfraktionen (Papier, Glas, Metalle, Kunststoffe, biogene Abfälle) und auf der anderen Seite eine erforderliche Nachbehandlung der Restabfälle ergeben. Für diese Nachbehandlung bzw. Vorbehandlung vor einer kontrollierten Deponierung gibt es zwei Verfahren: die thermische Behandlung (Müllverbrennungsanlage; MVA) sowie die mechanisch-biologische Behandlung (MA, MBA). Bei einer thermischen Behandlung wird der Restabfall unbehandelt (Rostfeuerung) bzw. zerkleinert (Wirbelschichtfeuerung) verbrannt, wobei aus der Abwärme Energie in Form von Prozessdampf, Fernwärme und Strom gewonnen werden können. Die dabei entstehenden Aschen entsprechen den Ablagerungsbedingungen der Dep VO und können deponiert werden. Bei dem zweiten Verfahren, der MBA-Behandlung, durchläuft der Restmüll eine Reihe mechanischer Aufbereitungsverfahren, wie Zerkleinerung, Klassierung, Eisen- und Nichteisenabscheidung, Windsichtung. Aus der daraus entstehenden Leichtfraktion können EBS in diversen Qualitäten erzeugt werden. Die ebenfalls anfallende Schwerfraktion durchläuft eine weitere biologische Behandlung um den Kriterien einer Ablagerung (zumeist Brennwertkriterium) zu genügen und deponiert werden zu dürfen. [2.1]

Da in der Steiermark nur eine MVA (Wirbelschichtanlage Niklasdorf-ENAGES), jedoch sechs MBAs (siehe Abbildung 2), sowie sechs Restmüllsplittingsanlagen für gemischte Siedlungsabfälle (siehe Abbildung 3) vorhanden sind, nimmt die EBS Herstellung einen dementsprechend großen Stellenwert ein. In der Sparte der EBS Abfallaufbereitung sind Unternehmen aus der Steiermark Vorläufer in Technologie und Know How. Um diesen technologischen Vorsprung weiter zu halten und auszubauen, sind steirische Unternehmen sowie Forschungseinrichtungen bemüht, maßgeblich an der Gestaltung der abfallwirtschaftlichen Zukunft des Landes beteiligt zu sein.

Standort	Kapazität in t/a	Betreiber
Graz / Frohnleiten	76.000	AEVG / Servus Abfall (biologische Stufe)
Halbenrain	70.000	A.S.A. Halbenrain
Liezen	25.000	AWV Liezen
Allerheiligen im Müürztal	17.000	AWV Mürzverband
Frojach-Katsch	14.000	AWV Murau
Aich-Assach	10.000	AWV Schladming
Gesamtkapazität:	212.000	

Abbildung 2: Mechanisch-biologische Anlagen in der Steiermark (Stand 2009) [2.7]

Standort	Kapazität in t/a	Betreiber
St. Johann in der Haide	10.000	AWV Hartberg
St. Michael	65.000	Fa. Mayer/Säumel
Graz	75.000	AEVG
St. Margareten an der Raab	45.000	Fa. Müllex
Peggau	40.000	Fa. Zuser
Fisching	34.900	Fa. Trügler
Gesamtkapazität:	269.900	

Abbildung 3: Restmüllsplittinganlagen für gemischte Siedlungsabfälle in der Steiermark (Stand 2009) [2.7]

Ersatzbrennstoffe sind in der Abfallverbrennungsverordnung (AVV-Novelle 2009) in § 3 Punkt 18 folgend definiert:

„Ersatzbrennstoffe: Abfälle, die zur Gänze oder in einem relevanten Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung eingesetzt werden und die die Vorgaben gemäß Anlage 8 erfüllen. Ein relevantes Ausmaß zum Zweck der Energiegewinnung liegt vor, wenn eine selbstgängige Verbrennung ohne Zusatzfeuerung möglich ist. Klärschlämme und Papierfaserreststoffe, die verbrannt werden und die die Vorgaben gemäß Anlage 8 erfüllen, gelten im Sinne dieser Verordnung als feste Ersatzbrennstoffe;“ [2.2]

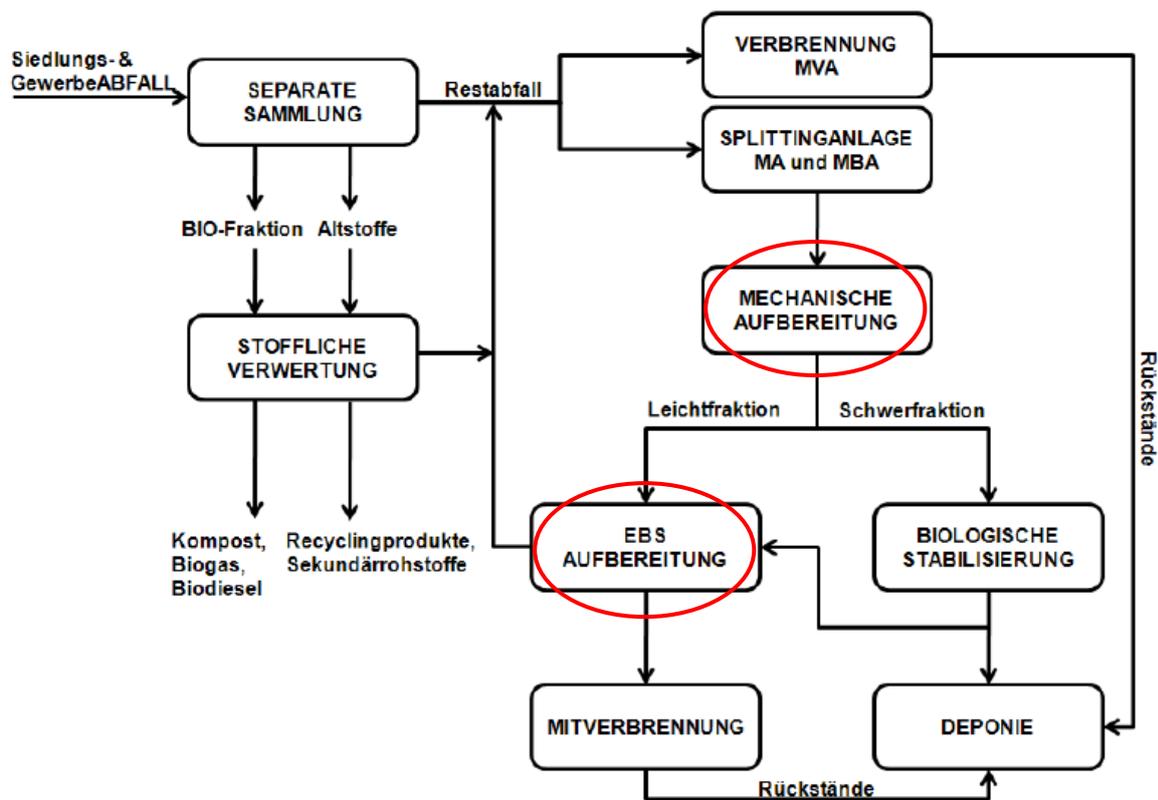


Abbildung 4: Das österreichische "Restmüll-Splitting" Konzept [2.1]

Die Qualitäten der EBS und damit ihr Einsatzgebiet sind sehr unterschiedlich und hängen im Grunde von dem Inputmaterial sowie vom Grad der Aufbereitung ab. Um EBS mit definierten Qualitäten und Spezifikationen zu produzieren ist in jedem Fall eine mehrstufige Aufbereitung notwendig, die im Wesentlichen folgende Arbeitsschritte beinhaltet:

- **Vorzerkleinerung** durch langsam laufende Zerkleinerer,
- **Störstoffabscheidung** durch Siebe, Windsichter, ballistischer Separatoren, sowie Eisen- und Nichteisenabscheider,
- **Feinzerkleinerung** durch Zerkleinerer, sowie
- **Konfektionierung**. [2.1]

„Bei einer **Konfektionierung** handelt es sich um die Behandlung von Abfällen zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften (z.B. Zerkleinerung, Trocknung, Pelletierung), die für die Aufgabe in die Mitverbrennungsanlage oder die Verbesserung des Verbrennungsverhaltens des Ersatzbrennstoffes erforderlich ist.“ [2.1]

2.2 Verfügbarkeit von Brennstoffen aus Abfällen

Die Nachfrage an Abfällen steigt stetig, die Konkurrenz um verfügbare Abfallmengen hat stark zugenommen. Insbesondere da die gesamten Verbrennungskapazitäten in einigen Ländern wie Deutschland und Österreich die verfügbaren Abfallmengen übersteigen. Dadurch entsteht ein Wettbewerb zwischen der klassischen Verbrennung für unbehandelte Abfälle, jener der industriellen Mitverbrennung (EBS-Nutzung) und einer stetig wachsenden stofflichen Verwertungsschiene. Die Entfrachtung heizwertreicher Fraktionen durch das Recycling von Kunststoffen lässt den Heizwert und das Volumen der gewonnenen EBS sinken.

2.3 Einsatzgebiete und Klassifizierung der EBS

Wie bereits erwähnt ergeben sich durch die Art der Aufbereitung und den Inputstrom unterschiedliche EBS-Qualitäten, die in verschiedenen industriellen Mono- und Mitverbrennungsanlagen und Verfahren Anwendung finden. Die Mitverbrennung betrifft Einsatzmöglichkeiten in der Bindemittel-, Eisen-, und Stahlindustrie sowie Kraftwerken zur Energieumwandlung. Dies bedeutet, dass die EBS nur zu einem bestimmten Anteil als Energieträger eingesetzt werden. So wird im Bereich der Mitverbrennung oft von Sekundärbrennstoffen gesprochen. Bei Monoverbrennungsanlagen handelt es sich um spezielle EBS-Kraftwerke, Vergasungsanlagen oder MVAs, in der ausschließlich Abfälle, oder z.B. Klärschlämme als Energieträger dienen. [2.4]

Die meisten Mitverbrennungsanlagen sind in der Bindemittelindustrie zu finden. Die hohen Substitutionsraten durch EBS in Österreichs Zementwerken (siehe Abbildung 5) begründen sich aus einer hochentwickelten Abfallwirtschaft, sowie finanziellen Vorteilen von Anlagenbetreibern im Bereich des CO₂-Zertifikationshandels. Ersatzbrennstoffe haben je nach Heizwert einen biogenen Anteil zwischen 26,7 % und 50,6 %. [2.5] Das aus dem biogenen Anteil eines EBS stammende CO₂ gilt als emissionsneutral und unterliegt somit nicht dem CO₂-Emissionshandel.

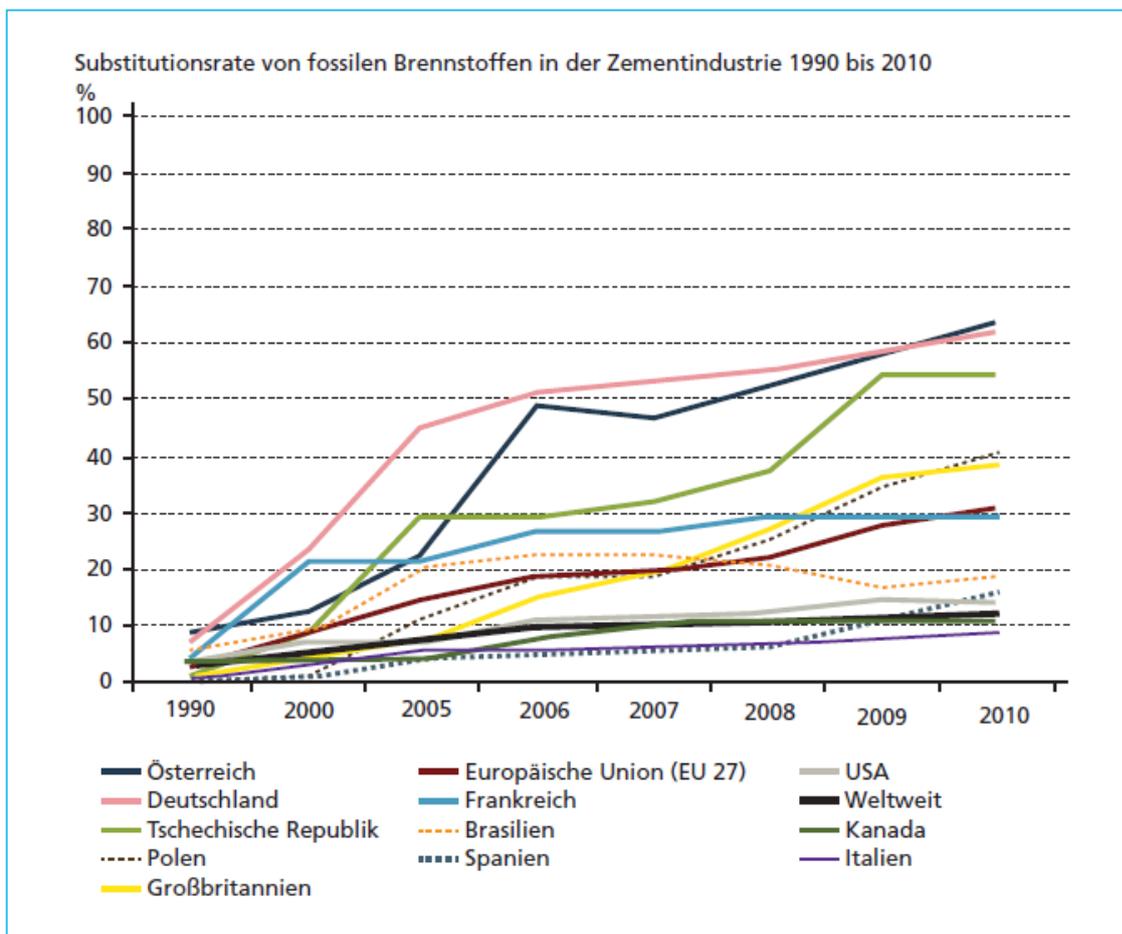


Abbildung 5: Substitutionsrate von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie für ausgewählte Länder, EU 27 und weltweit für den Zeitraum 1990-2010. [2.6]

Diese Brennstoffe müssen in Österreich eine vom Gesetzgeber festgelegte Qualität hinsichtlich Schadstoffbelastung erfüllen. Weitere wesentliche Qualitätsparameter sind dabei Heizwert (Hu in [MJ/kg]), Korngröße (d_{90} in [mm]), Störstoffgehalt [%], Chlorgehalt [%], sowie Aschegehalt [%]. Eine Übersicht der diversen Ersatzbrennstoffqualitäten ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Klassifizierung von Ersatzbrennstoffen [2.8]

Kriterium	Ersatzbrennstoffqualitäten					
	Kohlekraftwerk EBS	„EBS-Low“ (Rostfeuerung)	„EBS-Classic“ (Wirbelschicht)	Kalzinatorfeuerung EBS	„EBS-Premium“ (Primärfeuerung)	Hochofen EBS
Heizwert	11-15 MJ/kg	12-16 MJ/kg	12-16 MJ/kg	11-18 MJ/kg	22-25 MJ/kg	> 25 MJ/kg
Korngröße	< 50 mm pelletiert	< 300 mm	< 20-100 mm	< 50-80 mm	< 10-30 mm	< 10 mm pelletiert
Übergröße	0%	< 3%	< 2%	< 1%	< 1%	0%
Störstoffgehalt	< 1%	< 3%	< 1%	0	< 1%	0%
Chlorgehalt	< 1,5%	< 1%	< 0,8%	< 0,8%	< 0,8%	< 2%
Aschegehalt	< 35%	-	< 20%	-	< 10%	< 10%

In Abbildung 6 sind verschiedene Ersatzbrennstoffe in Abhängigkeit der beiden Qualitätsmerkmale Heizwert und Korngröße sowie deren Einsatzgebiet dargestellt.

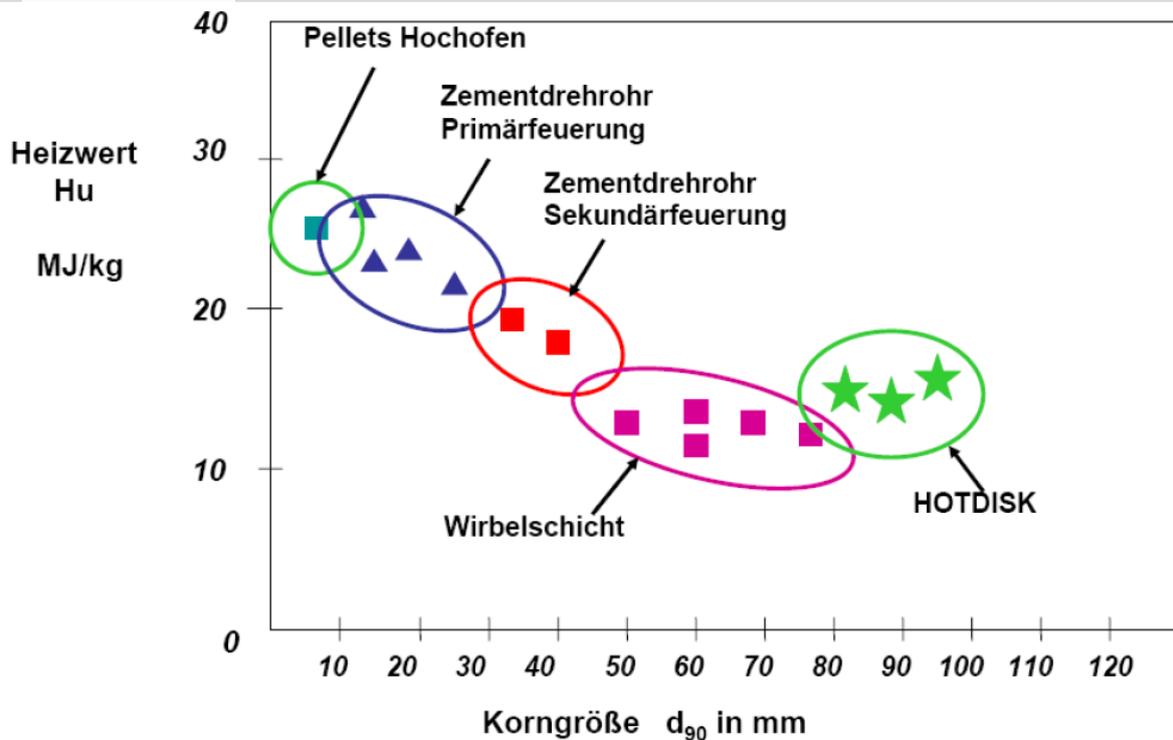


Abbildung 6: Einsatzgebiete unterschiedlicher EBS Sorten in Abhängigkeit von Heizwert und Korngröße [2.3]

Je hochwertiger die Qualität der EBS ist, desto weniger Zuzahlung ist bei der Abgabe erforderlich, und desto größer wird die Differenz zwischen Einnahmen zur Annahme und Ausgaben zur Abgabe des Abfalles. Die qualitativ hochwertigen EBS Fraktionen erfordern aber auch einen entsprechenden verfahrenstechnischen Aufwand des Aufbereiteters, da es sich dabei um eine störstofffreie, zerkleinerte Leichtfraktion aus Gewerbe- oder Restabfall handelt.

2.4 Problemquellen von Ersatzbrennstoffen

Da es sich bei Ersatzbrennstoffen nach wie vor um Abfälle handelt, ist deren Handling oft nicht ganz problemlos. Es sind verfahrenstechnische sowie wirtschaftliche Aspekte zu beachten.

2.4.1 Brandrisiko bei Lagerung

Auf beiden Seiten der Wertschöpfung, also beim EBS-Produzenten sowie beim EBS-Konsumenten, kann es zu Lagerhaltung kommen. Auf der einen Seite gibt es über das Jahr verteilt Schwankungen im Konsumentenverhalten und daraus folgend auch im Abfallaufkommen und in der Abfallzusammensetzung, die ein Abfallbehandler ausgleichen muss. Auf der anderen Seite schwankt auch die Nachfrage der Ersatzbrennstoffe. In der kalten Jahreszeit stehen auf Grund der geringen Nachfrage die Zementwerke still, welche die größten Abnehmer von EBS sind. Auf Grund dieser unregelmäßigen Rohstoff Input und Absatzsituation müssen Lager betrieben werden. Probleme dabei sind zumeist Geruchsbelästigung sowie das Selbstentzündungsrisiko.

„Während der Lagerung kommt es zu einer deutlichen Erwärmung des Materials, hervorgerufen durch mikrobiologischen Abbauvorgänge von organischen Anhaftungen und chemische Oxidationsreaktionen des Kunststoffes. Dieses Selbstentzündungspotential hängt sowohl von den Materialeigenschaften (z.B. Reaktivität, Oberflächenbeschaffenheit, Feuchtegehalt und Wärmekapazität) aber auch von der Art und der Geometrie des Lagers ab, welche Wärmeabfuhr und Sauerstofftransport beeinflussen.“ [2.1]

Die Brandgefahr bei der EBS Herstellung und Lagerung lässt sich durch brandschutztechnische bauliche Maßnahmen, Wärmebildüberwachungssysteme sowie Brandmeldeanlagen reduzieren.

2.4.2 Störstoff Chlor

„Der Chlorgehalt ist ein bestimmender Faktor für die Absatzmöglichkeiten des EBS und stellt momentan noch vor dem Heizwert die wichtigste reglementierte Größe dar.“ [2.4] Ein Großteil des Chlors in Ersatzbrennstoffen fällt bei kunststoffreichen, und damit heizwertreichen Fraktionen an. Verantwortlicher Chlorträger ist das PVC (Polyvinylchlorid – $[C_2H_3Cl]_n$) aufgrund seines hohen Chlorgehaltes. Ein weiterer Teil stammt aus NaCl in Nahrungsmittelabfällen.

Durch einen relativ hohen Chlorgehalt in Abfällen entsteht bei der Verbrennung von Abfällen bzw. EBS Produkten Chlorwasserstoff (HCl), ein farbloses Gas, das sich gut in Wasser löst und bei Abkühlung flüssige Salzsäure bildet, welche mit einem erhöhten Korrosionsrisiko in der Verbrennungsanlage einhergeht. Um hohe Leistungsgrade der Anlage zu erreichen, werden diese mit möglichst hohen Dampftemperaturen und Dampfdrücken betrieben, was das Korrosionsrisiko sowie die Folgen eines Korrosionsschadens weiter ansteigen lässt. Ein

hoher Chlorgehalt im Brennstoff trägt außerdem zur Bildung von flüchtigen Metallchloriden sowie zur Schwermetallanreicherung im Abgas von Verbrennungsanlagen bei. [2.1]

Im Zement-Herstellungsprozess führen Chlorgehalte $> 1 \%$ durch Verflüchtigung von Chloriden in den heißen Zonen und Kondensation in den kälteren Zonen zu unerwünschten Chlor-Kreisläufen, die in weiterer Folge zu Verklebungen und Anpackungen im Drehrohrofen führen können. [2.1]

Wurde bisher Chlor – und in weiterer Folge PVC aus Sicht der EBS Produzenten als Störstoff gesehen, kann sich diese Sichtweise mit geeigneter sensorgestützter Sortierung ändern. Eine Abtrennung des PVC Stromes verbessert einerseits das EBS-Produkt und ermöglicht andererseits ein stoffliches Recycling dieses Abfallstromes. Als funktionsfähiges System erweist sich die automatische Sortierung mittels der Nahinfrarot-Sensor-Technologie (NIR), welche die Chlorverbindungen in hellen PVC-Kunststoffen als solche detektiert und aus dem Abfallstrom ausschleust. [2.4]

2.4.3 Wirtschaftliche Probleme

Abfallentsorgern und in weiterer Folge EBS-Produzenten sind atypische Produktionsunternehmen. Der Abfallentsorger bekommt von dem Lieferanten Geld zur Übernahme der Abfälle. Diese Abfälle werden in diversen Prozessen aufbereitet und verkauft, wobei der Abfallentsorger Geld an den Abfallverbrenner zahlt und somit das hergestellte EBS-Produkt einen negativen Marktwert besitzt. Die Höhe des Geldflusses vom Entsorger an den Verbrenner hängt von dem Produkt (je höherwertig das Produkt, desto weniger muss Entsorger dem Verbrenner zahlen) sowie von der gesamtwirtschaftlichen Lage (gesetzliche Bestimmungen CO₂-Zertifikatshandel, fossile Brennstoffpreise, etc.) ab. Der Entsorger muss demnach alle Kosten sowie den gewünschten Gewinn aus der Differenz der Geldmittel, welche er pro Tonne Abfall bekommt und welche er pro Tonne Abfall bezahlt, erwirtschaften – siehe Abbildung 7.

„Die Geldbeschaffung eines EBS-Erzeugers (=Entsorgungsunternehmen) erfolgt somit nicht durch eine etwaige Erhöhung der Absatzmenge von EBS sondern durch eine Erhöhung der Abfall-Anliefermengen.“ [2.1]

Auf Grund dieser atypischen Geschäftssituation müssen einige Aspekte betrachtet werden. Da wie bereits erwähnt der Gewinn eines EBS Produzenten mit der Annahme und nicht mit dem Absatz des Produktes steigt, kann es zu sehr großen „Zwischenlagern“ (insbesondere „Folierte Rundballen Lager“), unerlaubten Ablagerungen sowie zur Verbrennung heizwertreicher Fraktionen in Müllverbrennungsanlagen kommen. [2.1]

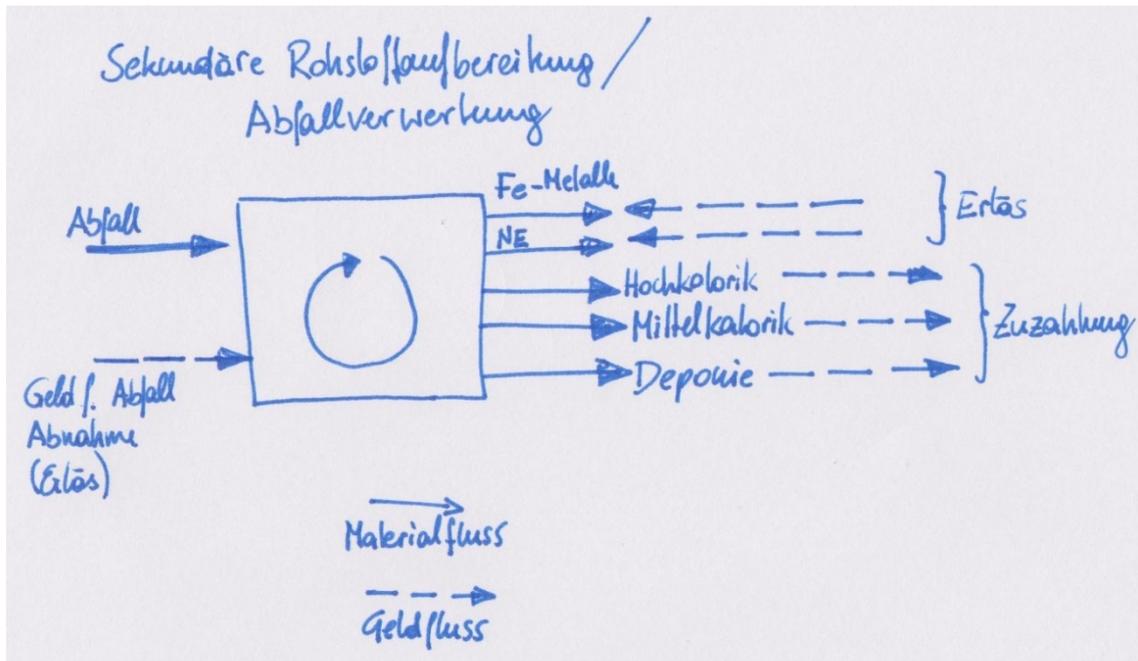


Abbildung 7: wirtschaftliche Betrachtung eines Abfallaufbereiteters / EBS Herstellers

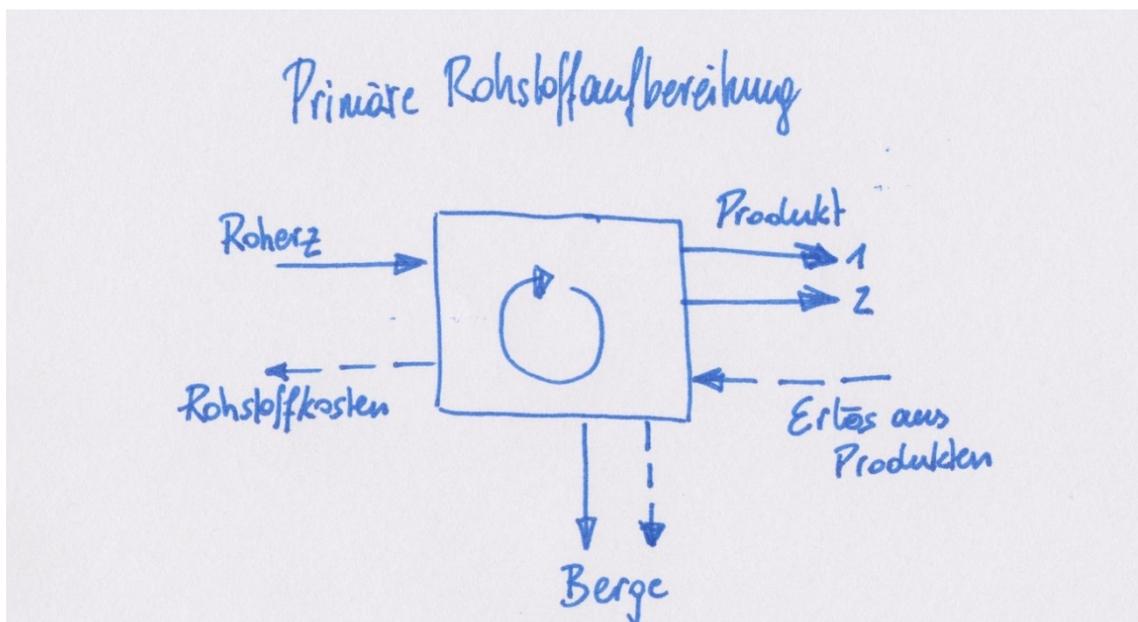


Abbildung 8: Wirtschaftliche Betrachtung einer primären Rohstoffaufbereitung

Vorhergehende Abbildungen stellen den Vergleich einer sekundären (Abbildung 7) mit einer primären (Abbildung 8) Rohstoffaufbereitung und dementsprechenden Geldmittelflüssen dar. So ist zu erkennen, dass der EBS-Erzeuger beinahe den gesamten Erlös aus der Abfallannahme generieren muss und auch für seine Produkte (außer Metalle) zahlt. Bei einer klassischen primären Aufbereitung von z.B. Erz, werden Rohstoffe gekauft, zu Produkten oder Halbzeugen verarbeitet und dann verkauft, aus dieser Differenz bildet sich der Erlös. Zusätzlich entstehen Nebenprodukte wie z.B. taubes Gestein (Berge), welches ebenfalls entsorgt werden muss.

3 Stand der Technik der mechanischen Aufbereitungsanlage 2

In folgendem Kapitel wird der Ist-Zustand der Anlage (in weiterer Folge MA 2 genannt) beschrieben. Dazu zählen eine Aufstellung der Maschinen und Verfahren bzw. der Programme, ein Verfahrensfliessbild (P&I = Process and Instrumentation), eine Auswertung der Störfälle, eine Vorprobenahme, Tracertests sowie eine ausführliche Massenbilanz und Feststellung der Materialqualitäten durch Probenahme und Analysen am Lehrstuhl des AVAW Leoben. Durch die Bestimmung des Ist-Zustandes soll die Anlage verstanden und die daraus resultierenden Produkte bewertet werden.

3.1 Maschinen MA 2

Die folgenden Tabellen (Tabelle 2 und Tabelle 3) geben eine Übersicht der derzeit verwendeten Maschinen in der Anlage. Die Nummern der Anlagenteile stimmen mit jenen der Darstellung auf nachfolgender Seite (Abbildung 9) überein, ausgenommen sind Anlagenteile ab Nummer 66, hierbei handelt es sich um Versorgungseinheiten (Schaltschränke, Filter, Gebläse etc.), welche nicht abgebildet wurden.

Tabelle 2: Auflistung aller in MA 2 Verwendung findenden Maschinen I

Anlagen der Abteilung: M-01-MA2 (Mechanische Aufbereitung)				
Anlage	Bezeichnung	Hersteller	Baujahr	Maschinenklasse, Bezeichnung
001	MA2 Terminator 5000 SED	KOMPTECH	2012	Zerkleinerer
002	MA2 Band 02 Austrageband Terminator	EIGENBAU	2011	Förderband
003	MA2 MAGNET 1 Schrott grob	IFE	2004	Magnet
004	MA2 Schrottrolle 1	EIGENBAU	2004	Magnet
005	MA2 Band 05 Austrageband Magnet 1	EIGENBAU	2004	Förderband
006	MA2 Band 9 Zuführband Sieb grob	EIGENBAU	2004	Förderband
007	MA2 IFE Sieb grob	IFE	2004	Sieb
008	MA2 Band 11 Austrageband SD Sieb grob	EIGENBAU	2004	Förderband
009	MA2 Band 12 Querband vor Sieb fein	EIGENBAU	2004	Förderband
010	MA2 Magnet 2 Schrott fein	BAKKER MAGNETICS	2004	Magnet
011	MA2 Schrottrolle 2	EIGENBAU	2004	Magnet
012	MA2 Band 14 Zuführband Sieb fein	EIGENBAU	2004	Förderband
013	MA2 IFE Sieb fein	IFE	2004	Sieb
014	MA2 Band 16 Austrageband SD Sieb fein	EIGENBAU	2004	Förderband
015	MA2 Band 17 Querband nach Sieb fein	EIGENBAU	2004	Förderband
016	MA2 Band 31A Zuführband Sternsieb	EIGENBAU	2004	Förderband
017	MA2 MAGNET 3 Zuführband Sternsieb	MBM	2004	Magnet
018	MA2 Sternsieb 1 (30mm)	KOMPTECH	2004	Sieb
019	MA2 Band 31B Austrageband SÜ Sternsieb	EIGENBAU	2004	Förderband
020	MA2 Band 31C SÜ nach Sternsieb	EIGENBAU	2004	Förderband
021	MA2 Band 31D Wendeband SÜ nach Sternsieb	EIGENBAU	2004	Förderband
022	MA2 Wendeklappe SD grob / SD fein	EIGENBAU	2004	Förderband
023	MA2 Band 31 Austrageband SD Sternsieb	EIGENBAU	2015	Förderband
024	MA2 Band 126 Austrageband SÜ Sieb fein	EIGENBAU	2004	Förderband
025	MA2 Band 32 Austrageband SÜ Sieb grob	EIGENBAU	2004	Förderband
026	MA2 Band 53 Schnelllaufband vor Nihot	EIGENBAU	2004	Förderband
027	MA2 Gebläse A	NIHOT	2007	Gebläse
028	MA2 Gebläse B	NIHOT	2007	Gebläse
029	MA2 Band 27 Austrageband Rost	EIGENBAU	2004	Förderband
030	MA2 Magnet 4 Rost	WAGNER	2004	Magnet
031	MA2 Schrottrolle 4	EIGENBAU	2004	Magnet
032	MA2 Band 21 Zuführband IFE Rost	EIGENBAU	2005	Förderband
033	MA2 FE-NE IFE 1 Rost	IFE	2004	Wirbelstrom- abscheider
034	MA2 Rolle groß in Nihot	NIHOT	2004	Gebläse
035	MA2 Rolle klein in Nihot	EIGENBAU	2004	Gebläse
036	MA2 Band 38 Austrageband mittel Nihot	EIGENBAU	2004	Förderband
037	MA2 Band 37 Austrageband leicht Nihot	EIGENBAU	2004	Förderband
038	MA2 Band 39 Zuführband I mittel Kometen	EIGENBAU	2004	Förderband
039	MA2 Band 40 Zuführband II mittel Kometen	EIGENBAU	2004	Förderband

Tabelle 3: Auflistung aller in MA 2 Verwendung findenden Maschinen II

040	MA2 Band 42 Zuführband I leicht Kometen	EIGENBAU	2004	Förderband
041	MA2 Band 43 Zuführband II leicht Kometen	EIGENBAU	2004	Förderband
042	MA2 Band 29 Wendeband A Komet I+II	EIGENBAU	2004	Förderband
043	MA2 Band 44 Wendeband B Komet I+II	EIGENBAU	2004	Förderband
044	MA2 Lindner Komet I	LINDNER	2011	Zerkleinerer
045	MA2 Lindner Komet II	LINDNER	2011	Zerkleinerer
046	MA2 Band 48 Austrageband Komet 1	EIGENBAU	2004	Förderband
047	MA2 Band 47 Austrageband Komet II	EIGENBAU	2004	Förderband
048	MA2 Magnet 5 Komet I	IFE	2004	Magnet
049	MA2 Magnet 6 Komet II	IFE	2004	Magnet
050	MA2 Schrottrolle 5 KOMET I	EIGENBAU	2004	Magnet
051	MA2 Schrottrolle 6 Komet II	EIGENBAU	2004	Magnet
052	MA2 Band 52 Zuführband IFE Komet I	EIGENBAU	2004	Förderband
053	MA2 Band 51 Zuführband IFE Komet II	EIGENBAU	2004	Förderband
054	MA2 FE-NE IFE Komet I	IFE	2009	Wirbelstrom- abscheider
055	MA2 FE-NE IFE Komet II	IFE	2007	Wirbelstrom- abscheider
056	MA2 Band 57 Austrageband IFE Komet I	EIGENBAU	2004	Förderband
057	MA2 Band 49 Austrageband IFE Komet II	EIGENBAU	2004	Förderband
058	MA2 Wendeklappe Austrageb. IFE Komet I	EIGENBAU	2014	Förderband
059	MA2 Wendeklappe Austrageb. IFE Komet II	EIGENBAU	2014	Förderband
060	MA2 Band 34 Bunkerband lang in Box 5	EIGENBAU	2014	Förderband
061	MA2 Band 35 Bunkerband kurz in Box 5	EIGENBAU	2004	Förderband
062	MA2 Band 60 Bunkerband lang in Box 2	EIGENBAU	2014	Förderband
063	MA2 Band 61 Bunkerband kurz in Box 2	EIGENBAU	2004	Förderband
064	MA2 Sternsieb 2 in Box 2	KOMPTECH	2004	Sieb
065	MA2 Band 65 Austrageband SÜ Sterns. Box2	EIGENBAU	2004	Förderband
066	MA2 Filter Nihot	NIHOT	2004	Gebläse
067	MA 2 Schaltschränke Komet I + II	ARP	2011	Elektrik
068	MA2 Schaltschrank Terminator 5000 SED	KOMPTECH	2012	Elektrik
069	MA2 Schaltschrank IFE	IFE	2009	Elektrik
070	MA2 Hallenabsaugung	EIGENBAU	2011	Absaugung
071	MA2 Rohraabsaugung Komet I	EIGENBAU	2011	Absaugung
072	MA2 Rohraabsaugung Komet II	EIGENBAU	2011	Absaugung
073	MA2 Zellradschleuse Rohraabsaugung	EIGENBAU	2012	Absaugung

Bei den durchsatzlimitierenden und kostenmaximierenden Kernelementen der EBS-Anlage handelt es sich um den Vorzerkleinerer (Komptech Terminator), den Windsichter (Nihot), sowie die beiden Feinzerkleinerer (Lindner Komet 1 & 2). Auf Grund deren Relevanz für die gesamte Anlage werden diese Kernelemente folgend näher beschrieben.

3.1.1 Komptech Terminator 5000 SE

Bei der Anlagenbaureihe „Terminator“ der Firma Komptech GmbH, handelt es sich um langsam laufende Einwellenzerkleinerer. Auf Grund der zahlreichen Gestaltungsmöglichkeiten der Anlage, sind folgend wichtige Eckdaten aufgelistet:

- Type: TM 5000 S E Direct, F-Zerkleinerungseinheit,
- SN: 366009,
- Leistung: 2 Asynchronmotoren á 110 kW,
- Drehzahl:
 - 1. Gang vorwärts 14,5 U/min,
 - 2. Gang vorwärts 19,7 U/min,
 - Rückwärtsgang 15,0 U/min,
- Gewicht: 15,3 t,
- Walzenlänge/ Durchmesser: 3000 / 1050 mm. [1]

3.1.2 Ecoblock Windsichter (Nihot)

Der Windsichter erfüllt zwei wichtige Aufgaben im Maschinenverbund der MA 2. Zum einen trennt er den Abfallstrom in drei Abfallströme, die Schwer-, Mittel- und Leichtfraktion. Die Leicht- und Mittelfractionen gelangen zur weiteren EBS-Produktion in die Feinzerkleinerer. Zum anderen findet eine Ausschleusung der Schwerfraktion, zum Schutz der Feinzerkleinerer, statt. Wichtigste maschinentechnische Daten sind:

- Doppelter Trommeltrenner
 - 1e Trommel:
 - Leistung: 2,2 kW
 - Trommeldrehzahl: 15 U/min,
 - Spannung: 220/400 V, 50 Hz,
 - 2e Trommel:
 - Leistung: 1,5 kW
 - Trommeldrehzahl: 12 U/min,
 - Spannung: 220/400 V, 50 Hz,
- Transportventilator:
 - Leistung: 36,8 kW,
 - Drehzahl 1: 1475 U/min,
 - Drehzahl 2: 920 U/min,
 - Spannung: 400/690 V, 50 Hz,
- Lufttrennungsanlage (Drehschieber)
 - Leistung: 2,2 kW,
 - Drehzahl: 15 U/min,
 - Spannung: 230/400 V, 50 Hz,

3.1.3 Lindner Power Komet 2800

Bei den Anlagen der Firma Lindner Recyclingtechnik GmbH handelt es sich um schnelllaufende Einwellenzerkleinerer. Auf Grund der großen Zerkleinerungsleistung, welche die beiden Maschinen erbringen müssen, stellen sie das Durchsatz-Nadelöhr der EBS-Aufbereitungsanlage dar. Es werden folgend wichtige maschinentechnische Daten aufgelistet:

- Type: Power Komet 2800, Baujahr 2010,
- Ma. Nr.: 1783 & 1784,
- Messerzahl: 80 Stück,
- Messerform: 172x57x28,
- Sieb-Lochung: 35 mm,
- Maschinengewicht: 25,5 t,
- Antrieb: Drehstrommotor (2x)
 - Leistung: 200 kW,
 - Drehzahl: 1480 U/min
 - Spannung/ Frequenz: 3x400 V / 50 Hz,
- Getriebe: Vorgelege (2x)
 - Übersetzung Riementrieb Motor/ Vorgelege: $I = 1 : 1,78$
 - Übersetzung Riementrieb Vorgelege/ Rotor: $I = 1 : 3,16$

Kernelemente der EBS-Aufbereitungsanlage sind der Terminator (Pos. 1), der Windsichter (Pos. 34) sowie die beiden Feinzerkleinerer (Pos. 44, 45).

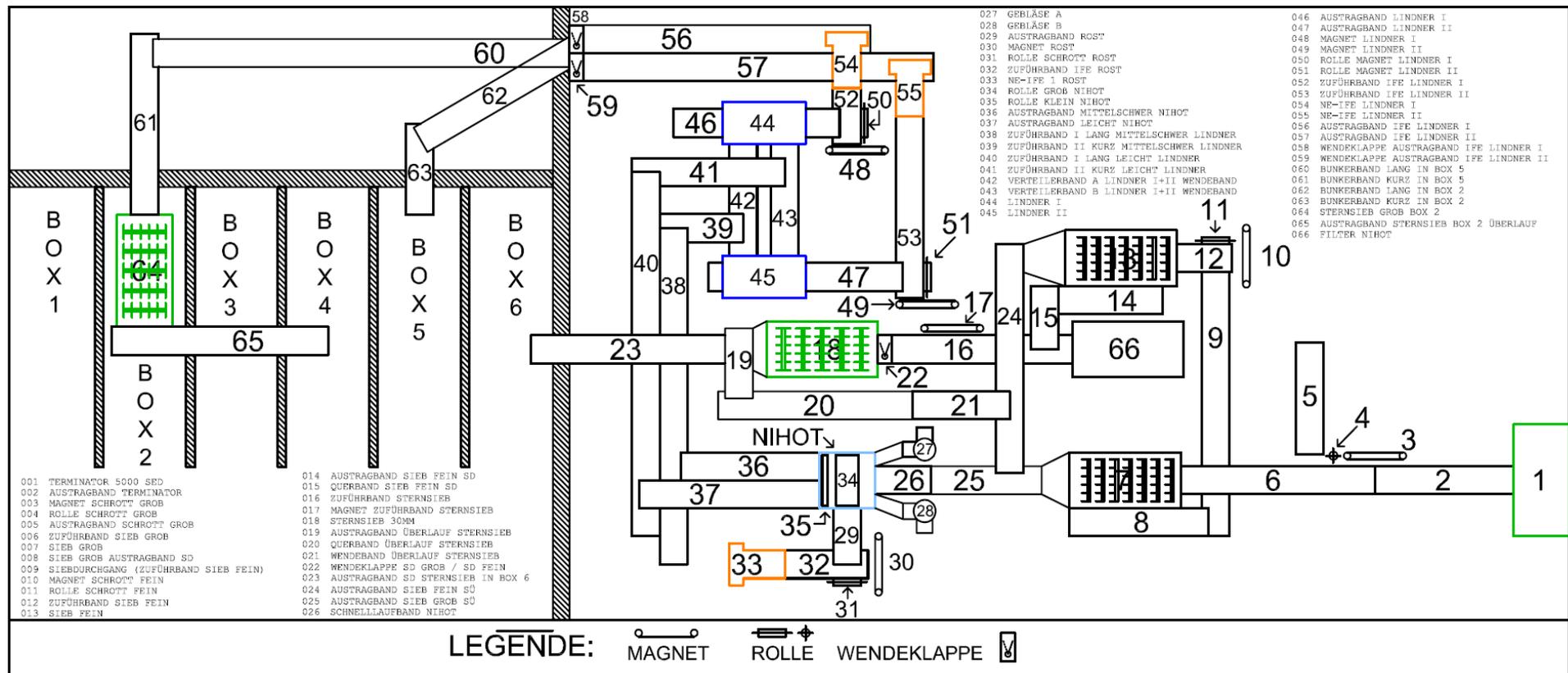


Abbildung 9: schematische Darstellung MA 2

3.2 Programme der MA 2

Durch die verschiedenen Inputmaterialien, die von sortenreinen Kunststoff-Sortierresten über Gewerbeabfälle bis hin zum feuchten Restabfall reichen, gibt es sechs verschiedene Betriebsprogramme bzw. Fahrweisen der Anlage, bei denen vor allem die In- und Outputströme variieren.

- **P3 Mainburner:**
Input: Kunststoffabfälle und Sortierreste
Output: Mainburner 100 %
- **P3 Kalzinator:**
Input: Kunststoffabfälle und Sortierreste
Output: 1) Mainburner 40 %, 2) Kalzinator 60 %
- **P1 viel Gewerbeabfall:**
Input: A) 1 Schaufel Restabfall, B) 3 Schaufeln Gewerbeabfall,
Output: 1) Mainburner 25 %, 2) Kalzinator 45 %, 3) Siebdurchgang (30 mm) 30 %
- **P1 mittel Gewerbeabfall:**
Input: A) 1 Schaufel Restabfall, B) 2 Schaufeln Gewerbeabfall,
Output: 1) Mainburner 20 %, 2) Wirbelschicht 50 %, 3) Siebdurchgang (30 mm) 30 %
- **P1 wenig Gewerbeabfall:**
Input: A) 1 Schaufel Restabfall, B) 1 Schaufel Gewerbeabfall,
Output: 1) Mainburner 15 %, 2) Wirbelschicht 45 %, 3) Siebdurchgang (30 mm) 40 %
- **P1 nur Restabfall:**
Input: Restabfall
Output: 1) Mainburner 15 %, 2) Wirbelschicht 35 %, 3) Siebdurchgang (30 mm) 50 %

Bei der Einheit „Schaufeln“ handelt es sich um Radladerschaufeln mit einem Volumen von 2,5-3 m³ und einer Beladung (bestimmt durch eine integrierte Schaufelwaage) von rund 800 kg/Schaufel bei Restabfällen und rund 120-700 kg/Schaufel bei Gewerbeabfällen. (Quelle: Norbert Patz, Schichtführer MA 2, Mayer GmbH)

Hierbei kann aus den Schaufelladungen zumindest das volumenbezogene Verhältnis der Inputmaterialien ermittelt werden. Aufgrund stark schwankender Dichten der Materialien ist ein realitätsnahes massenbezogenes Verhältnis schwer darzustellen. Die Programmauswahl und Dauer der Programme richtet sich je nach gewünschter Output-Qualität bzw. Auftragslage. Die Programme P3 Mainburner und P3 Kalzinator werden im Normalbetrieb nicht gefahren, vielmehr dienen die geringen verfügbaren Mengen sortenreiner Kunststoffabfälle der Qualitätsverbesserung bei minderwertigem oder feuchtem Restabfall-Material.

3.3 P&I

Abfallinputs: Gesamtschema

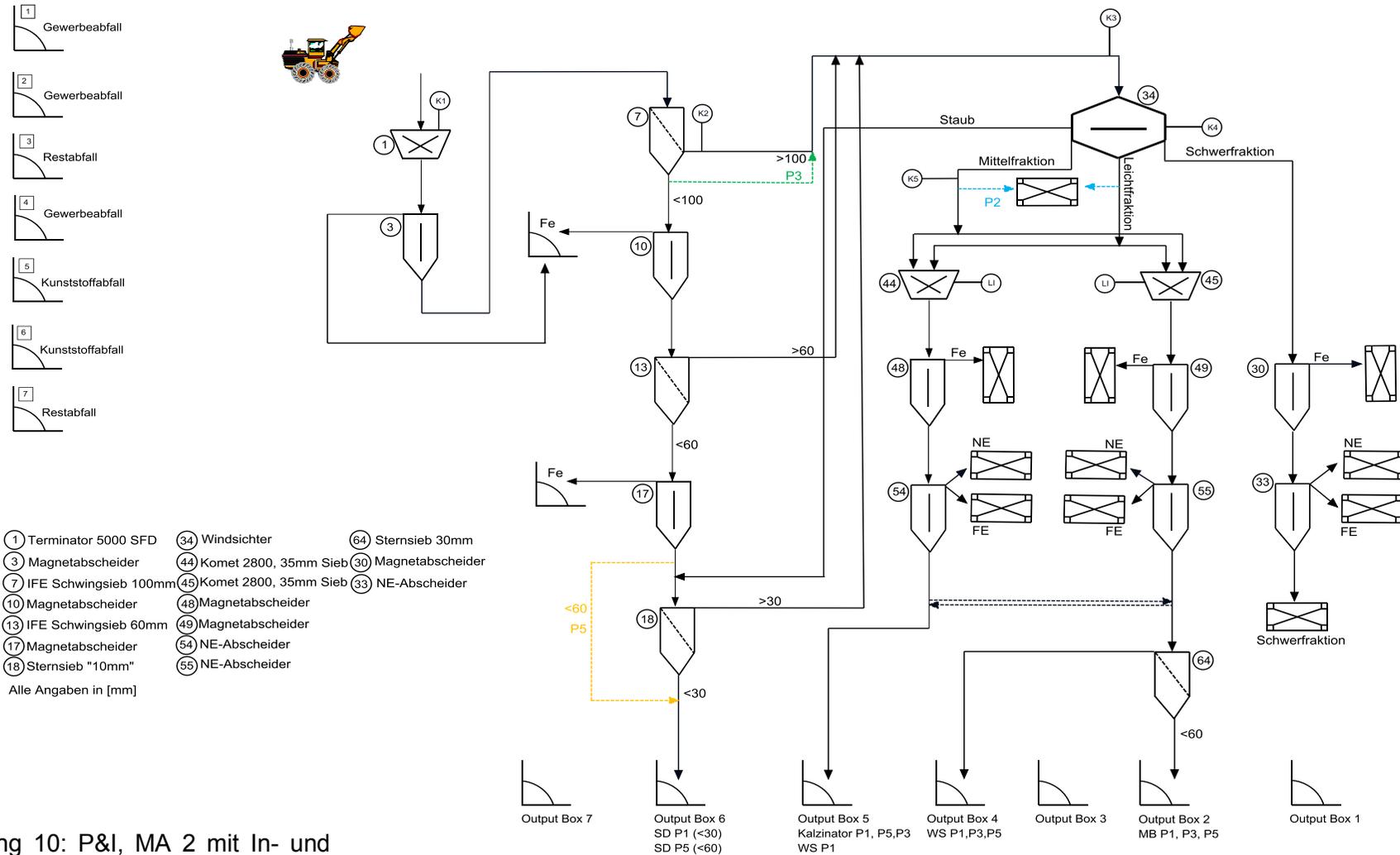


Abbildung 10: P&I, MA 2 mit In- und Outputbunkern

3.4 Auswertung der Störfälle

Dank einer mit der Produktionsanlage MA 2 verknüpften Betriebsüberwachungssoftware namens GAMED – OEE-Analyser (engl. Overall Equipment Effectiveness) ist es möglich Anlagenstillstände aufzuzeichnen. Dauert ein Stillstand länger als etwa zwei Minuten muss vom Radladerfahrer bzw. Schichtführer ein Grund für besagten Stillstand in das Überwachungssystem eingetragen werden. Dies ermöglicht eine faktisch lückenlose Dokumentation des Anlagenzustandes über das gesamte Jahr. Essentielle Daten wie Produktionszeit, Produktionsfaktor, Verfügbarkeitsfaktor, Stillstand geplant, Stillstand ungeplant und vieles mehr kann aus den Auswertungen abgelesen werden. Geplante Stillstände stellen inaktive Schichten, Schichtübergaben, Wartungen etc. dar. Interessant für die Optimierung der Produktionsanlage sind jene ungeplanten Stillstände, welche mit Hilfe des Programmes im Wesentlichen in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- „mechanisch“ – mechanische Gebrechen – z.B. mechanisch Terminator
- „elektrisch“ – elektrische Gebrechen – z.B. elektrisch Lindner
- „Produktion“ – produktionsbedingte Gebrechen, wie Verstopfungen – z.B. Produktion leicht Nihot (Windsicher)
- „Reinigung“ – reinigungsbedingte Stillstände – z.B. Reinigung Sieb grob.

Diese vier Kategorien sind die häufigsten, wengleich es einige mehr Gründe für ungeplante Stillstände gibt (z.B. Entleeren, Rüsten, Besuch/Führung...).

Eine genauere Betrachtung der Nutzungsanalysen für die Jahre 2013, 2014 und 2015 zeigt keinen klaren Trend, welcher Anlagenteil für die meiste ungeplante Stillstandzeit verantwortlich ist. Es zeigt sich jedoch, dass die meisten Stillstände auf die bereits erwähnten Kernelemente, Vorzerkleinerer (Terminator), Windsichter (Nihot), sowie die beiden Feinzerkleinerer (Lindner 1&2) zurückzuführen sind. Um genau zu betrachten, wie sehr diese ungeplanten Stillstände den Betrieb der MA 2 beeinflussen, wurde in Tabelle 4 bis Tabelle 6 der prozentuelle Anteil der ungeplanten Stillstände berechnet.

Tabelle 4: Auszug Nutzungsanalyse 2013, prozentueller ungeplanter Stillstand

Jahr 2013	Dauer [h]
Absolute Verfügbarkeit	8.760,00
effektive Produktionszeit	3.415,65
Stillstand geplant	3.726,30
Stillstand ungeplant	1.618,05
mögliche Produktionszeit	5.033,70
davon 1.618,05 h ungeplanter Stillstand entspr. 32,14 %.	

Tabelle 5: Auszug Nutzungsanalyse 2014, prozentueller ungeplanter Stillstand

Jahr 2014	Dauer [h]	
Absolute Verfügbarkeit	8.760,00	
effektive Produktionszeit	3.872,53	
Stillstand geplant	3.144,45	
Stillstand ungeplant	1.743,00	
mögliche Produktionszeit	5.615,55	davon 1.743 h ungeplanter Stillstand entspr. 31,04 %.

Tabelle 6: Auszug Nutzungsanalyse 2015, prozentueller ungeplanter Stillstand

Jahr 2015	Dauer [h]	
Absolute Verfügbarkeit	8.760,00	
effektive Produktionszeit	4.025,60	
Stillstand geplant	3.078,23	
Stillstand ungeplant	1.656,16	
mögliche Produktionszeit	5.681,77	davon 1.656,16 h ungeplanter Stillstand entspr. 29,15 %.

Der ebenfalls aufgezeichnete Verfügbarkeitsfaktor stellt das prozentuelle Gegenstück der ungeplanten Stillstandzeiten dar. Dementsprechend ist z.B. für das Jahr 2015 der Verfügbarkeitsfaktor $100\% - 29,15\% = 70,85\%$. Dieser Wert kann ebenfalls wie folgt berechnet werden: $\text{Verfügbarkeitsfaktor} = \text{Laufzeit} / (\text{Laufzeit} + \text{Stillstandzeit})$.

Aus zwei weiteren Kennzahlen, dem Leistungsfaktor [%]- $\text{Leistungsfaktor} = \text{Ist-Leistung} / \text{Soll-Leistung}$ (zum Beispiel in Stück / Stunde) und dem Qualitätsfaktor [%]- $\text{Qualitätsfaktor} = (\text{Anzahl produzierter Teile} - \text{Anzahl Nacharbeitsteile} - \text{Anzahl Ausschussteile}) / \text{Anzahl produzierter Teile}$, kann eine betriebswirtschaftliche Kennzahl, die Gesamtanlageneffektivität-GAE = $\text{Verfügbarkeitsfaktor} \times \text{Leistungsfaktor} \times \text{Qualitätsfaktor}$, erstellt werden.

Die Grundlagen, um eine aussagekräftige Gesamtanlageneffektivität für die MA 2 zu erstellen, sind auf Grund der falschen Beurteilung des Leistungsfaktors sowie des Qualitätsfaktors nicht gegeben.

3.5 Vorprobenahme

Die Vorprobenahme und in weiterer Folge die Analysen der Proben der Vorprobenahme ermöglichen es in kleinem Umfang mit dem zu untersuchenden Material zu arbeiten. Dabei sollen unerwartete Eigenschaften des Materials bzw. Probleme, die bei der Manipulation auftreten, vorzeitig aufgedeckt werden. Die Vorprobenahme fand am 23.03.2016 statt, wobei drei Stoffströme:

- > 60 mm (60-100 mm),
- > 30 mm (30-60 mm) und
- < 30 mm (Mainburner).

beprobte wurden. Mit einer Probenmengenberechnung lt. Deponieverordnung ergeben sich folgende Mengen für Einzelstichproben bzw. qualifizierte Stichproben.

$$\text{Probemenge [kg]} = 0,06 \times \text{Größtkorn (d}_{95}\text{) [mm]}$$

Tabelle 7: Materialmengen der Vorprobenahme

Größtkorn [mm]	Anzahl der Proben	EinzelSP [kg]	qualifizierte SP [kg]	Gesamt [kg]
100	1	6	60	60
60	1	3,6	36	36
30	3	1,8	18	54
				150

Der physikalische Parameter der Dichte der Materialien wurde direkt vor Ort nach der Probenahme bestimmt, hierzu wurde eine 120 Liter fassende Tonne bis zum Rand gefüllt und abgewogen. Aus dem Zusammenhang

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

konnte die Dichte des Abfalles ermittelt werden. Die so ermittelte Dichte der Abfallströme ist in Tabelle 9 dargestellt.

Weitere Parameter, die im Zuge der Vorprobenahme zu bestimmen waren, waren der Feuchtegehalt sowie die Korngrößenverteilung, die Siebbarkeit und eine Charakterisierung der Eisen- und Nichteisen-Fractionen, die im Prozess anfallen.

Zur Bestimmung der Feuchtigkeit der Fraktionen wurde jeder Probe eine Teilmenge entnommen und getrocknet. Hierzu musste besagte Teilmenge ausgewogen und daraufhin in einen Trockenschrank gestellt werden. Im Trockenschrank herrscht eine Temperatur von exakt 105 °C, über ein Gebläse wird stetig feuchte Luft abgeführt. Bei dieser Temperatur verdampft langsam das in der Probe enthaltene Wasser ohne schwerer flüchtige Substanzen auszutreiben oder das Material chemisch zu verändern. Die Trocknung ist bis zur

Gewichtskonstanz der Probe fortzuführen. Die Ergebnisse der Trocknung des Vorprobenmaterials sind in Tabelle 10 dargestellt.

Die Feuchtigkeit der Abfälle stellt einen entscheidenden Parameter dar, da sie wesentlich die Möglichkeiten der Aufbereitung (Zerkleinerung, Siebung, etc.), die chemische Reaktionseigenschaften sowie den Heizwert der Ersatzbrennstoffe bestimmt. Auf Grund der hohen Feuchtigkeit der Abfallproben ($> 20\% \text{ H}_2\text{O}$), vor allem bei den Mainburner-Materialien, musste die gesamte Probemenge für die anschließende Siebung getrocknet werden. Da die Trocknung der gesamten Probemenge im Trockenschrank auf Grund Platzmangels nicht möglich war, wurden luftdurchlässige Jutesäcke verwendet, in denen das Probenmaterial luftgetrocknet wurde.

Die ersten Siebversuche wurden mit Hilfe eines rotierenden Siebschüttlers am 4. und 5. April 2016 durchgeführt. Die Siebe wurden aufeinander gesteckt und mit Hilfe eines Schnellspanners auf die rotierende Platte des Siebschüttlers geschraubt (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Für die Untersuchung des Vorprobenmaterials mit der KG 60-100 mm wurden Siebe mit den Siebschnitten 112 mm, 100 mm, 80 mm, 63 mm, 40 mm, 30 mm, 25 mm, 10 mm und 1 mm verwendet. Für die Untersuchung des Vorprobenmaterials mit der KG 30-60 mm wurden Siebe mit den Siebschnitten 80 mm, 63 mm, 40 mm, 30 mm, 25 mm, 10 mm und 1 mm verwendet. Für die Untersuchung des Mainburner-Materials ($< 30 \text{ mm}$) wurden Siebe mit den Siebschnitten 40 mm, 30 mm, 25 mm, 10 mm und 1 mm verwendet. Die Siebe verfügten über einen Edelstahl- oder Messingrahmen und ein Edelstahlgitter nach ISO 3310-1. Es ergab sich somit eine Aufteilung in 10 Korngrößenklassen für 60-100 mm, in 8 Korngrößenklassen für 30-60 mm und in 6 Korngrößenklassen für das Mainburner-Material. Aufgrund der begrenzten Siebturmhöhe im Labor wurden die Siebungen in zwei Arbeitsschritte geteilt, wobei die Proben im ersten Schritt bis zur Korngröße 40 mm und im Anschluss bis $< 1 \text{ mm}$ abgeseibt wurden (vgl. Abbildung 11).

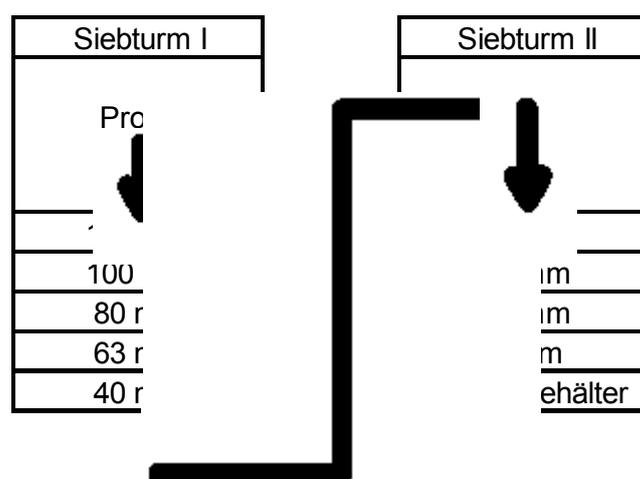


Abbildung 11: Teilung der Siebtürme für Probe 60-100 mm

Die Ergebnisse der Siebung werden in Tabelle 11 bis Tabelle 13 veranschaulicht.



Abbildung 12: Siebturm I

Abbildung 13: Restabfallfraktion > 112 mm
nach dem Siebvorgang

Durch die Erkenntnis, dass eine Siebung aller Fraktionen (60-100 mm, 30-60 mm und < 30 mm) nicht zielführend war, wurde nach Alternativen gesucht. Die Siebung der Vorproben hat gezeigt, dass eine nähere Betrachtung des Mainburner-Materials von Bedeutung ist, insbesondere jene Fraktionen um 30 mm Korngröße. Ein zu kleiner Siebkorb in den Feinzerkleinerern erhöht den Verschleiß sowie den Energieverbrauch und verringert den Durchsatz erheblich. Als Konsequenz dieser Überlegungen, wurde zur Charakterisierung der Korngrößenverteilung des Mainburner-Materials ein Vibrationssieb ausgewählt. Mit Hilfe des Vibrationssiebes wurde in einem ersten Versuch der Zeitaufwand der Siebungen abgeschätzt. Die Ergebnisse dazu sind in Tabelle 14 angeführt. Als weitere Vereinfachung wurde die Anzahl der Siebschnitte verringert. Die verbleibenden Siebschnitte wurden gezielt zur Überprüfung der in der Anlage MA 2 eingesetzten Rüttelsiebe dimensioniert.

Charakterisierung der Eisen- und Nicht-Eisen Fraktionen:

Als einziges marktfähiges (positiver Marktwert) Produkt sind bei der EBS Aufbereitung die abgetrennten Eisen und Nichteisen Metalle zu nennen – siehe Abbildung 7. Dementsprechend ist eine genaue Betrachtung dieser Fraktionen sowie ihrer Abtrennung erforderlich. Die gute Wiederverwertbarkeit, die vergleichsweise einfache Abscheidung sowie ein etablierter Sekundärrohstoffmarkt machen diesen Wertstoff besonders attraktiv. Die angesprochene Abscheidung geschieht bei Eisenmetallen derzeit mittels Überbandmagneten, bei Nichteisenmetallen mittels Wirbelstromabscheider (engl. Eddy current separator). Die Menge der tatsächlich in den Abfällen enthaltenen Metalle kann nur mit Hilfe bekannter Werte aus der Literatur (Restabfall - Abbildung 16) und Sortieranalysen (Gewerbeabfall - Tabelle 18 bis Tabelle 20) abgeschätzt werden. Besonderes Augenmerk wird auf die Sortierung der Output Fraktionen (Mainburner, Kalzinator, Siebdurchgang)

gelegt, da jedes hier gefundene Metallstück in eine Verbrennungsanlage gelangt. Sich dieser Menge bewusst zu werden und diese zu reduzieren stellte eine wichtige Aufgabe dieser Forschungsarbeit dar. Eine Charakterisierung der Eisen- und Nicht-Eisen-Fractionen, die in der MA 2 anfallen, ist dem Anhang zu entnehmen.

3.6 Siebanalyse Aufbereitungslabor

Um die Ergebnisse der bisherigen Siebversuche zu untermauern, wurde die Siebung der Mainburner-Fraktion mit fünf unabhängigen repräsentativen Proben, genommen am 17.05, vorgenommen. Die Siebung wurde mit Hilfe eines Vibrationssiebes durchgeführt, wobei lediglich ein Siebschnitt (31,5 mm) und der Siebboden (< 31,5 mm) Verwendung fand. Die Siebdauer betrug exakt zwei Minuten. Die Ergebnisse der Siebungen sind in Tabelle 16 dargestellt.

3.7 Tracertests

Das Tracen, also das Verfolgen von ausgewählten Inputstoffen durch eine Anlage, ermöglicht es, Informationen über die Funktionstüchtigkeit und Arbeitsweise einer Anlage, der Durchlaufdauer der Stoffe bzw. bestimmter Anlagenteile zu erlangen. Der Tracertest am 21.04.2016 in der Anlage MA 2 in St. Michael i. d. Obersteiermark wurde mit mehreren Tracern durchgeführt, unter anderem Aluminiumdosen, PVC Rohren sowie Folien.

3.7.1 Tracertest mit Aluminiumdosen

Zu Beginn wurden bei vollem Betrieb 818 g Dosen (19 Stück) direkt über dem Mittelfraktion (Kalzinator)-Feinzerkleinerer (Maschinen Nr. 9,10) aufgegeben. Der Kalzinatorbunker sowie der NE-Container wurden vorher entleert. Nach zehn Minuten wurde der Zerkleinerer nicht weiter beschickt. Nach insgesamt 25 Minuten und Leerlaufen des Zerkleinerers konnten nur sehr geringe Mengen mit Hilfe des NE-Abscheiders abgetrennt werden. Im Kalzinatorbunker wurden auf Grund der sehr großen Produktmenge, trotz der auffälligen Farbe der Dosen, nur geringe Mengen wieder gefunden.

Bei einem erneuten Versuch wurden neun Aluminiumdosen zusätzlich farblich markiert und direkt in den leeren Feinzerkleinerer gelegt. Wieder wurde sowohl Bunker als auch NE-Container entleert.

3.7.2 Tracertest mit PVC Rohren und Folien

Als Tracer wurden mehrere Rohre aus Hartkunststoffen, Kunststoffpaletten, Kunststofftanks sowie zwei Ballen unterschiedlicher Folien verwendet. Bei diesen Abfällen handelte es sich um Gewerbeabfälle, siehe Abbildung 14 und Abbildung 15. Die Materialien wurden anders als die Aluminiumdosen am Beginn der Anlage bei dem Vorzerkleinerer in den Prozess eingebracht. Durch die optische Kontrolle an neuralgischen Punkten der Anlage, wurde kontrolliert, ob die Fraktionen den ihnen vorgegebenen Weg durch den Prozess richtig durchlaufen und ob diese in weiterer Folge auch in den richtigen Output Bunker gelangen.

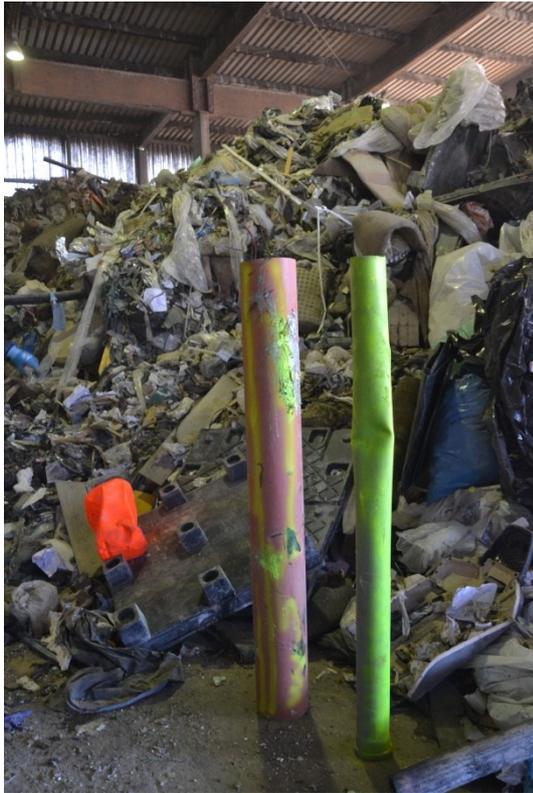


Abbildung 14: PVC Tracer (Rohre, Paletten, eingefärbte Kanister)



Abbildung 15: Kunststofffolien nach dem Vorzerkleinerer

3.8 Material- und Wertstoffanalysen

Um weiterführende Informationen über die Wertstoffinhalte der Massenströme der MA 2 zu erlangen wurden Sortieranalysen durchgeführt. Unter dem Begriff Wertstoffe sind alle jene Abfallbestandteile zu verstehen, die stofflich verwertet werden können. Hierrunter fallen vor allem Materialien wie Eisen- und Nichteisenmetalle, Holz, Papier, sowie Kunststoffe, sofern diese in ausreichender Qualität und Quantität vorhanden sind. Eine Sortieranalyse ist eine Sortierung bestimmter Abfallbestandteile von Hand. Es wurden Sortierungen von folgenden Stoffströmen durchgeführt: Gewerbeabfall Input, Siebdurchgang 30 mm und 60 mm Output, sowie die Mainburner- und Kalzinator-Fraktion, ebenfalls outputseitig. Der Gewerbeabfall stellt eine besonders interessante Fraktion dar, einerseits weil er die größte Inputfraktion der Mayer GmbH ist (siehe Abbildung 17), andererseits weil er in der abfallwirtschaftlichen Literatur noch nicht ausreichend beschrieben und charakterisiert wurde. Auf Grund seiner Herkunft kann mit einem höheren Kunststoff-, Holz-, sowie Metallanteil gerechnet werden. Gleichzeitig ist von einem geringeren Organik-Anteil und somit einem geringeren Feuchtigkeitsgehalt als beim Restabfall auszugehen, weshalb Gewerbeabfall einfacher aufzubereiten ist und einen höheren Heizwert hat. Die Sortierung der Gewerbeabfälle wurde direkt in der Anlage, die Sortierung der Mainburner- und Kalzinator-Fraktionen sowie die Sortierung des Siebdurchganges wurden im Labor durchgeführt.

3.8.1 Sortierung von Gewerbeabfällen I (Input)

Die Sortierung fand vor Ort in der EBS-Anlage in St. Michael in der Obersteiermark statt. Ziel der Sortierung war eine Abschätzung des Wertstoffinhaltes des Gewerbeabfalles. Sortiert wurden folgende Fraktionen:

- Kunststoffverpackungen (KS-Verpackungen),
- Papier,
- Holz,
- Metalle sowie
- Reststoffe

Um eine möglichst repräsentative Sortierung durchzuführen, wurden 10 Stichproben á rund 25 kg direkt vom Förderband genommen. Aus Gründen der Zugänglichkeit wurde die Probenahmestelle zwischen den Aggregaten 3 (Fe-Abscheider) und 7 (100 mm Rüttelsieb) lt. Anlagenbild (siehe Abbildung 9) gewählt. Als Zeitabstand zwischen den Probenahmen wurden 30 Minuten gewählt, womit sich eine Probedauer von 300 Minuten, also 5 Stunden ergab. Über diesen Zeitraum sollte sich eine möglichst große Vielfalt an Inputmaterial ergeben. Um die gewonnenen Daten belasten zu können bzw. weitere Daten zu erlangen wurde die Sortierung mit einigen Wochen Abstand zwei weitere Male wiederholt.

3.8.2 Sortierung von Gewebeabfällen II (Input)

Auf Grund der Erfahrungen der ersten Gewerbeabfall-Sortierung wurden bei der erneuten Sortierung am 04.08.2016 einige Änderungen eingeführt. Zum einen wurde die Probenahmestelle vor den Magnetabscheider verlegt, um die Gesamtmenge an Metallen die in den Prozess eingebracht werden, erfassen zu können. Zum anderen wurden bei der Sortierung selbst nicht mehr nur die Kunststoffverpackungen sortiert, sondern alle Kunststoffe. Diese Kunststoff-Fraktion hat sich um Folien, Hartkunststoffe, Schaumstoffe, Dämmstoffe, etc. im Gegensatz zur KS-Verpackungsfraktion, erweitert. Die Ergebnisse der zweiten Sortieranalyse sind in Tabelle 19 in Kapitel 4.5.1 veranschaulicht.

3.8.3 Sortierung von Gewerbeabfällen III (Input)

Auf Grund des eingespielten Teams und der Erfahrungen der vorhergehenden Sortieranalysen wurde die Vorgehensweise der vorhergehenden Sortierung beibehalten, siehe Kapitel 3.8.2. Sortierproben wurden wieder zwischen Vorzerkleinerer und Fe-Abscheider (Aggregat 1 und Aggregat 3, lt. Abbildung 9) genommen. Auch die sortierten Fraktionen sind ident geblieben. Die Ergebnisse der dritten Sortieranalyse sind in Tabelle 20 in Kapitel 4.5.1 veranschaulicht.

3.8.4 Sortierung von Output Materialien

Sortiert wurden alle Output-Ströme (Mainburner, Kalzinator, Siebdurchgang 30 mm, Siebdurchgang 60 mm). Die Output-Ströme Mainburner sowie Kalzinator wurden genauer betrachtet, hier wurden acht bzw. fünf repräsentative Proben sortiert. Vom Siebdurchgang 30 mm wurden drei und vom Siebdurchgang 60 mm zwei Proben sortiert – siehe Tabelle 23 und Tabelle 24. Sortiert wurden die Mainburner- und Kalzinator-Proben auf Metalle und Holz, die Siebdurchgang-Proben auf Metalle, Holz und Papier. Ziel dieser Untersuchung war es die Wertstofffracht im Endprodukt abzuschätzen. Es konnte außerdem eine Aussage über die Qualität der vorhandenen Eisen- und Nichteisen-Abscheider getroffen werden.

Da die Fraktion Wirbelschicht bzw. Siebdurchgang, wie bereits erwähnt, den mit Abstand größten Massenstrom darstellt, war eine Betrachtung dieser Fraktion essentiell. Insbesondere die Fraktion SD 30 mm stellte eine wichtige Größe dar, da die Fraktion SD 60 mm nur in Ausnahmefällen produziert wird. Sortiert wurde besagte Fraktion (SD 30 mm) auf folgende Wertstoffe: Metalle, Holz, Kunststoffe, sowie Inertstoffe. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 25 dargestellt und die sortierten Fraktionen in Abbildung 42 bis Abbildung 45 veranschaulicht.

3.8.5 Restabfallzusammensetzung der Steiermark

Auf eine Restabfallanalyse bzw. Sortierung wurde im Rahmen dieses Projektes verzichtet, da die Restabfallzusammensetzung geringeren Schwankungen unterliegt und bereits belastbare Untersuchungen im Bereich der Restabfallzusammensetzung vorhanden sind. Bezugnehmend auf die Informationen der Mayer GmbH sind die Hauptaufkommen der Restabfallmengen, die in der Anlage in St. Michael verarbeitet werden, drei Ballungsräumen bzw. Bezirken zuzuordnen:

- Bezirk Leoben (RMVG): ca. 12.000 t/a,
- AVW Mürzerverband: ca. 12.500 t/a,
- Bezirk Judenburg: ca. 6.000 t/a.

Aus dem Endbericht „Sortieranaysen für Restabfall aus der Steiermark“ [3.2], erstellt von der ARGE Ingenieurgemeinschaft Innovative Umwelttechnik GmbH, und Saubermacher Dienstleistungen AG, geht folgende Abbildung 16 hervor. In besagter Abbildung ist die Restabfallzusammensetzung sämtlicher untersuchter Teilgebiete in Gewichtsprozent dargestellt. Ein Vergleich der Zusammensetzung von Restabfall und Gewerbeabfall wird in Kapitel 5.3 gezogen.

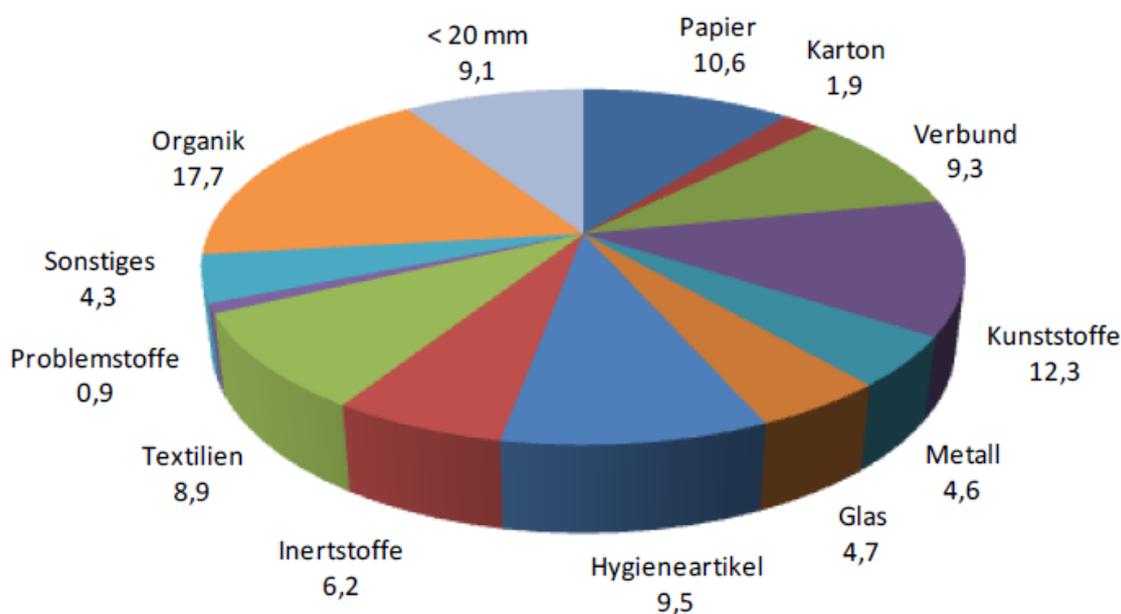


Abbildung 16: Restabfallzusammensetzung in Massen-% lt. Endbericht „Sortieranaysen für Restabfall aus der Steiermark“ [3.2]

Die Fraktion Holz wurde in obiger Darstellung der Organik zugerechnet und beträgt für Korngrößen > 40 mm 1,2 % und für Korngrößen < 40 mm (20-40 mm) 1,4 %. In weiterer Folge wird vereinfacht mit dem Mittelwert der beiden Werte gerechnet, einem Holzanteil in der Restabfallfraktion von 1,3 %.

3.9 Massenbilanzen

Die Jahresmassenbilanzen für die Jahre 2013 bis 2015, die Grundlage zahlreicher Berechnungen dieser Masterarbeit darstellen, sollen in folgender Tabelle 8 und Abbildung 17 dargestellt und visualisiert werden.

Tabelle 8: Jahresabfallbilanz 2013, 2014, 2015

Gesamtbilanz		Masse [Mg/a]			Anmerkung
		2013	2014	2015	
Input	Restabfall	31.373	30.949	31.025	
	Gewerbeabfall	39.048	41.717	38.018	
	Kunststoffabfall	18.676	8.608	12.298	
	Lager	3.200	6.027	6.293	
	Σ	92.296	87.301	87.634	
Output	Mainburner	20.455	17.781	15.521	
	Kalzinatormaterial	11.033	15.953	23.813	
	Wirbelschichtmaterial	43.866	35.036	35.399	
	Fe-Schrott	4.332	3.783	3.655	
	NE-Schrott	200	210	250	
	SD biologische/thermische Behandlung	3.615	5.624	6.287	
	Schwerfraktion (Rost)	2.769	2.619	2.629	3% *
	Σ	86.270	81.008	87.554	
	Lager	6.027	6.293	80	

*Schätzwert von DI Harald Hirt

Im Zuge der Ist-Zustandserhebung wurde ermittelt, dass es sich bei dem Strom „Wirbelschicht“ ebenfalls um Siebdurchgang handelt. Die Unterscheidung zwischen Wirbelschicht und Siebdurchgang in der Gesamtbilanz ergibt sich auf Grund rechtlicher Gegebenheiten. Hier hat die Firma Mayer die Auflage, eine gewisse Menge Siebdurchgang auszuweisen bzw. zu produzieren. In Folge wird der Begriff des Wirbelschichtmaterials nicht mehr verwendet, da es sich dabei um Siebdurchgang handelt. Für das Jahr 2015 kommt eine Gesamtmenge des Siebdurchganges von 41.677 t/a zustande, diese Fraktion stellt somit mengenmäßig die größte Fraktion dar. Da diese Fraktion aufgrund des vergleichsweise geringen Heizwertes die qualitativ minderwertigste Fraktion darstellt, sind hier die Abgabekosten am größten – siehe Abbildung 7.

Massenbilanz MA2 des Jahres 2015

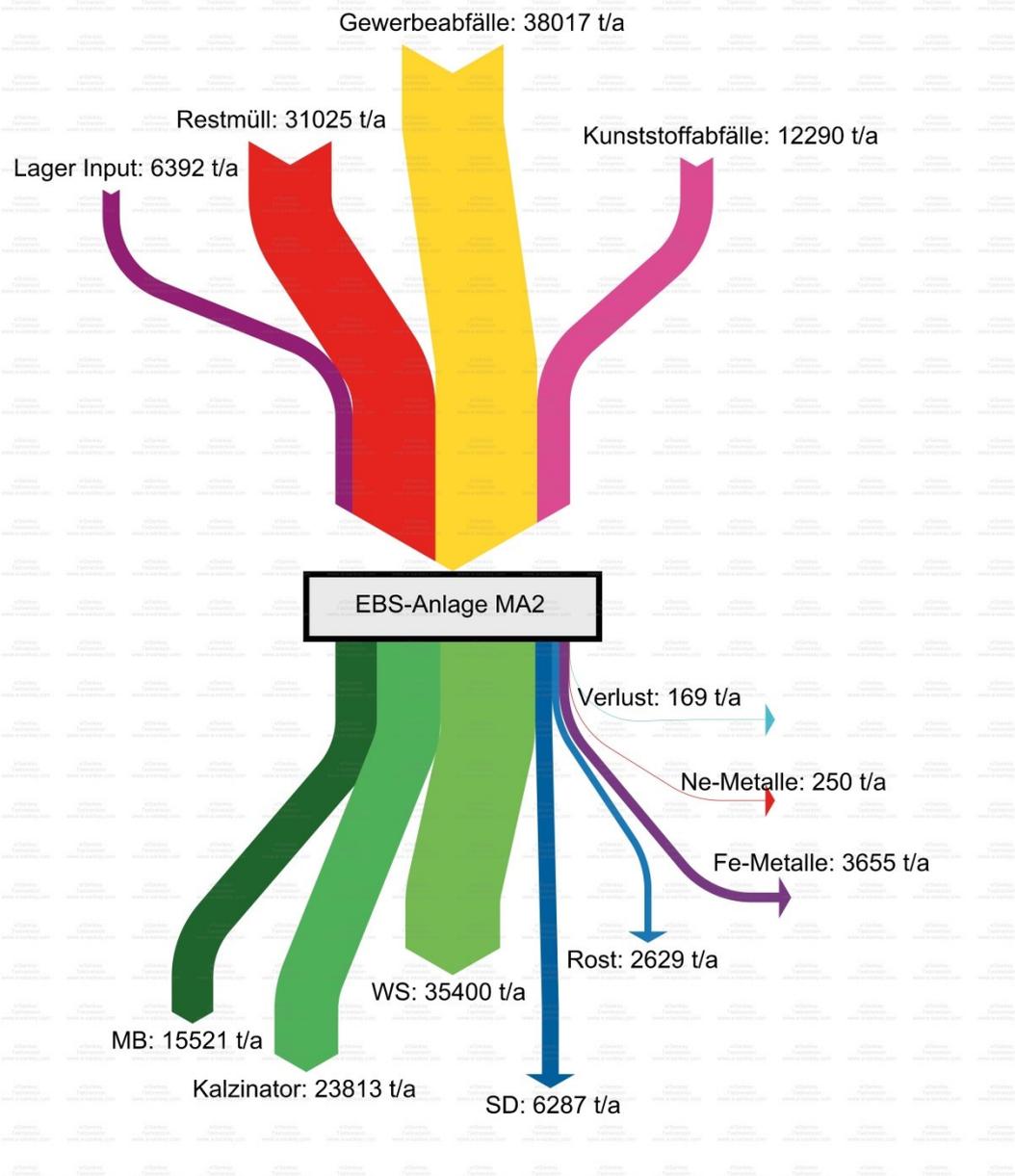


Abbildung 17: grafische Darstellung der Abfallströme für das Jahr 2015

Die 6.392 Tonnen „Lager Input“ ergeben sich aus der Differenz des Inputs und Outputs des vorhergehenden Kalenderjahres (2014), und werden kurzerhand als Lagerbestand über den Jahreswechsel verstanden, damit die Bilanz ausgeglichen ist. Der Materialverlust von 169 Tonnen für das Jahr 2015 ergibt sich aus einer Vielzahl von Einflüssen. Darunter fallen Messungenauigkeiten der Brückenwaage (+/- 20 kg), Trocknung des feuchten Abfallmaterials, sowie Verstoffwechslung organischer Abfallbestandteile durch Mikroorganismen während der Lagerung. Wie grafisch gut zu sehen ist, stellen Gewerbeabfälle den größten Inputstrom dar.

3.10 Verschleißtest am Komptech Terminator

Bei der Anlagenbaureihe „Terminator“ der Firma Komptech GmbH, handelt es sich um langsam laufende Einwellenzerkleinerer. Die Baureihe bietet ein breites Spektrum an Gestaltungsmöglichkeiten der Anlage. So kann der Terminator stationär und elektrisch oder mobil mit Hilfe von Verbrennungskraftmaschinen angetrieben werden. Auch bei der Motorisierung, sowie der Antriebsart gibt es zusätzlich mehrere Möglichkeiten, z.B. hydraulisch oder direkt angetrieben. Bei der gegenständlichen Anlage handelt es sich um einen stationären, elektrischen, mechanisch direkt angetriebenen Zerkleinerer (siehe Abbildung 18) mit folgenden Maschinendaten:

1. Type: TM 5000 S E Direct, F-Zerkleinerungseinheit,
2. SN: 366009,
3. Leistung: 2 Asynchronmotoren á 110 kW,
4. Drehzahl:
 - 1. Gang vorwärts 14,5 U/min,
 - 2. Gang vorwärts 19,7 U/min,
 - Rückwärtsgang 15,0 U/min,
5. Gewicht: 15,3 t,
6. Walzenlänge/ Durchmesser: 3000 / 1050 mm. [1]

Dieses Aggregat spielt eine zentrale Rolle in der EBS-Aufbereitungsanlage MA 2.



Abbildung 18: stationärer, mechanisch direkt angetriebener Terminator 5000 S E Direct [1]

3.10.1 Aufgabenstellung

Ziel des Versuches war es, den langsam laufenden Einwellenzerkleinerer Terminator der Komptech GmbH mit Messern in drei verschiedenen Verschleißzuständen zu bestücken und dabei die Zerkleinerungsleistung und andere Parameter zu beobachten.

Die dabei betrachteten Verschleißzustände waren:

- „**gemischt**“: Stellt den Regelbetrieb mit einer Mischung an neuen und verschlissenen Zähnen bzw. allen Zuständen dazwischen dar,
- „**verschlissen**“: Maschine wurde nur mit verschlissenen Zähnen bestückt, sowie
- „**neu**“: Maschine wurde komplett mit neuwertigen Werkzeugen bestückt.

Die während der Versuchszeiten aufgezeichneten Parameter waren:

- der Massendurchsatz [t/h],
- die Korngrößenverteilung,
- die Stromaufnahme [A],
- der Volumendurchsatz [m³/h].

Der Verschleißtest wurde getrennt voneinander mit Gewerbeabfall und mit Restabfall durchgeführt.

3.10.2 Versuchsträger

Versuchsdatum: 13.07.2016; 20.07.2016; 28.07.2016 sowie 29.07.2016

Anlage und Versuchsort: MA 2 der Mayer GmbH in St. Michael i. d. O.

Betriebspersonal: Schichtführer, Radladerfahrer

Inputmaterial: Restabfälle, Gewerbeabfälle

Einwellenzerkleinerer: stationärer Terminator der Komptech GmbH

Type: TM 5000 S E Direct, F-Zerkleinerungseinheit

SN: 366009

Leistung: 2 Asynchronmotoren á 110 kW

Drehzahl: 1. Gang vorwärts 14,5 U/min

2. Gang vorwärts 19,7 U/min

Retourgang 15,0 U/min

Betriebsstunden des Zerkleinerungsaggregates an den Versuchstagen:

13.07.2016: 6544 h

20.07.2016: 6620 h

28.07.2016: 6712 h

3.10.3 Versuchsbedingungen

13.07.2016: Der Werkzeugzustand (gemischt) in der Maschine wurde dokumentiert aber nicht getauscht bzw. erneuert. Begonnen wurde der Versuch mit Restabfall. Nach Beginn der Messung wurde etwa alle 30 Minuten die Anlage gestoppt und eine Output-Probe mit Hilfe einer Schaufel vom Band genommen. Es wurden jeweils fünf Proben von Rest- und Gewerbeabfall genommen. Die Probemenge war dabei immer gleich, zwei vollgefüllte 60 Liter Wannen. Der Feuchtegehalt des Restabfalles unterliegt wetterbedingt einer Schwankung, da dieser im Freien gelagert wird.

Wetter: regnerisch, zum Teil Starkregen.

20.07.2016: Die Werkzeuge in der Maschine wurden teilweise getauscht. Die neueren Zähne von Walze und Gegenkamm wurden gegen stark verschlissene getauscht, es wurden alle Werkzeuge dokumentiert. Versuchsdurchführung wie am 13.07.

Wetter: sonnig, trocken

28.07.2016: Die Werkzeuge der Maschine wurden komplett getauscht. Es wurden auf der Walze und am Gegenkamm neue Zähne eingebaut. Versuchsdurchführung wie am 13.07.

Wetter: bedeckt, trocken



Abbildung 19: neuwertiger Walzenzahn



Abbildung 20: stark verschlissener Walzenzahn



Abbildung 21: stark verschlissener Gegenkammzahn



Abbildung 22: neuwertiger Gegenkammzahn

3.10.4 Messmethodik

- 1) Massendurchsatz [t_{\max}/h]: Verwiegung des Inputmaterials durch Radlader und Bestimmung der effektiven Arbeitszeit des Zerkleinerungsaggregates,
- 2) Korngrößenverteilung: fünf Probenahmen alle 30 Minuten, anschließende Siebung mit Handsieben, ergab folgende Korngrößenbereiche: 0-11,2 mm; 11,2-25 mm; 25-50 mm; 50-100 mm; 100-150 mm; > 150 mm,
- 3) Stromaufnahme: Messklammer die Strom [Ampere], sowie Spannung [Volt], welche von der Anlage aufgenommen wurden, aufzeichnete,
- 4) Volumendurchsatz [m^3/h]: mittels einer nach dem Zerkleinerer installierter optischer Messbrücke (siehe Abbildung 23).

Weitere Messmethodik:

- 5) Verschleiß der neuen Zähne: Vor Einbau der neuen Zähne wurden alle (Kamm und Gegenkamm) verwogen (siehe Anhang). Bei Austausch gegen neue Zähne wurden die alten verwogen, sowie die Betriebsstunden festgehalten. Somit konnte ein Zusammenhang aus Verschleiß in Gramm und Betriebsstunden hergestellt werden.



Abbildung 23: optische Messung des Volumenstromes

Die Ergebnisse und Auswertungen des Terminator Verschleißtests sind in Kapitel 4.6 dargestellt. Eine Interpretation und Diskussion der erhaltenen Werte sind im darauffolgenden Kapitel 5 einzusehen.

3.11 Konzepte zur Erprobung

In Zusammenarbeit mit Anton Mayer sowie Komptech, wurde ein zweistufiges Verfahren für die neue Anlage definiert. Stufe eins wird sich dabei weiterhin der EBS-Gewinnung, der Ausschleusung von Metallen sowie der Abtrennung von Störstoffen widmen und ist in weiterer Folge Gegenstand des folgenden Kapitels. Stufe zwei wird sich mit der Gewinnung der Wertstoffe aus dem verbleibenden Material auseinandersetzen. Die Erprobungsphase mit Hilfe der mobilen Maschinen soll die Funktionstüchtigkeit der auf dem Papier entworfenen Maschinenzusammensetzung bestätigen sowie etwaige Probleme mit dem täglichen Abfallstrom aufdecken. Besagte Probleme können durch einen erhöhten Störstoffanteil, z.B. durch extreme Feuchtigkeit etc., entstehen.

3.11.1 Konzepte Stufe I

Die vorgestellten Konzepte bzw. Schemata sind durch Anlagenbesichtigungen, Expertengesprächen und nach den Wünschen der Anlagenbetreiber entstanden und lehnen sich u.a. an eine bereits vorhandene Abfallaufbereitungsanlage in Žilina in der Slowakei. In folgender Abbildung 24 bis Abbildung 27 sind die Konzepte der Anlagenvarianten dargestellt. Im Grunde handelt es sich um vier Anlagenvarianten, die sich durch die Anzahl der Ballistik-Separatoren sowie eventuelle Grobsiebe der Type „Splitter“ unterscheiden. Diese Aufzählung der Anlagenvarianten ermöglicht eine Unterscheidung in:

- 1a: Duoballistor ohne Splitter,
- 1b: Monoballistor ohne Splitter,
- 2a: Douballistor mit Splitter und
- 2b: Monoballistor mit Splitter.

Der Splitter übernimmt die Aufgabe einer Vorabscheidung der Abfälle in eine Fraktion > 300 mm, welche einer Vorzerkleinerung übergeben wird, und eine Fraktion < 300 mm, welche den Vorzerkleinerer umgeht und direkt dem nachgeschalteten Sieb aufgegeben wird. Ziel des Splitters ist es, den Vorzerkleinerer zu entlasten, Verschleiß und Energiekosten zu sparen, sowie Materialien vor einer eventuellen Ausschleusung nicht unnötig zu zerkleinern.

Zur besseren Verständlichkeit nachfolgender Abbildungen, werden die verwendeten Symbole beschrieben.



... Vorzerkleinerer



... Sieb



... Splitter



... Ballistik Separator



... Feinzerkleinerer



... Output

RM ... Restabfall

2D ... flächiges Material, Überlauf Ballistor

GW ... Gewerbeabfall

3D ... kubisches Material, Unterlauf Ballistor

SD ... Siebdurchgang

SÜ ... Siebüberlauf

> 100 ... Material größer 100 mm

< 100 ... Material kleiner 100 mm

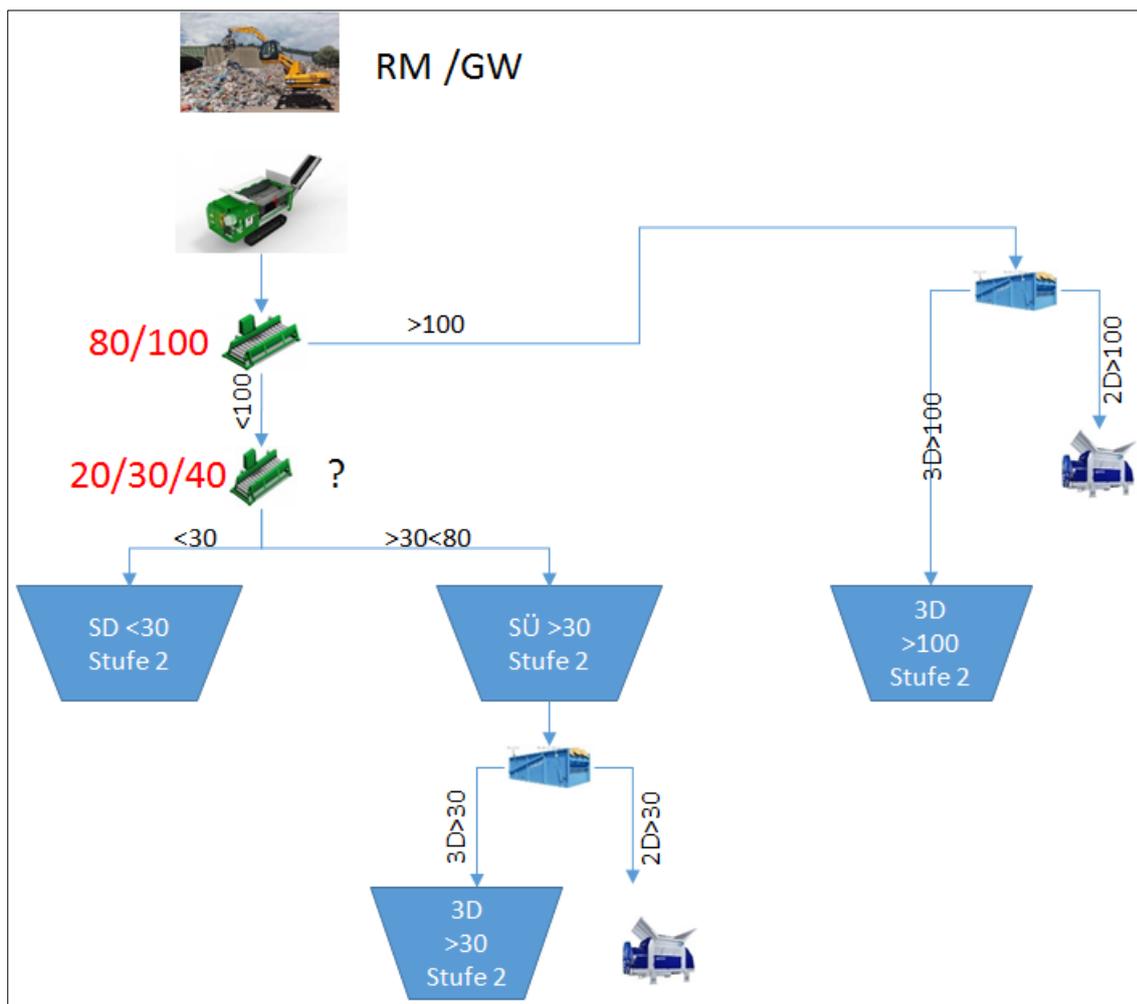


Abbildung 24: Schema 1a, Duoballistor ohne Splitter

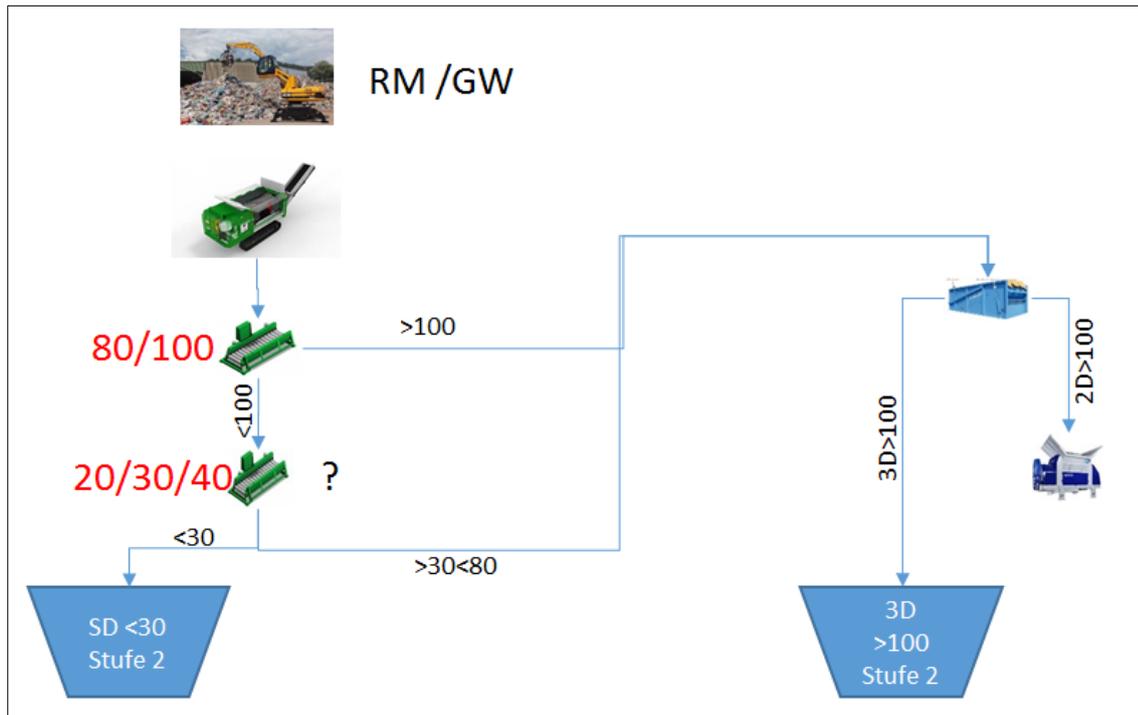


Abbildung 25: Schema 1b, Monoballistor ohne Splitter

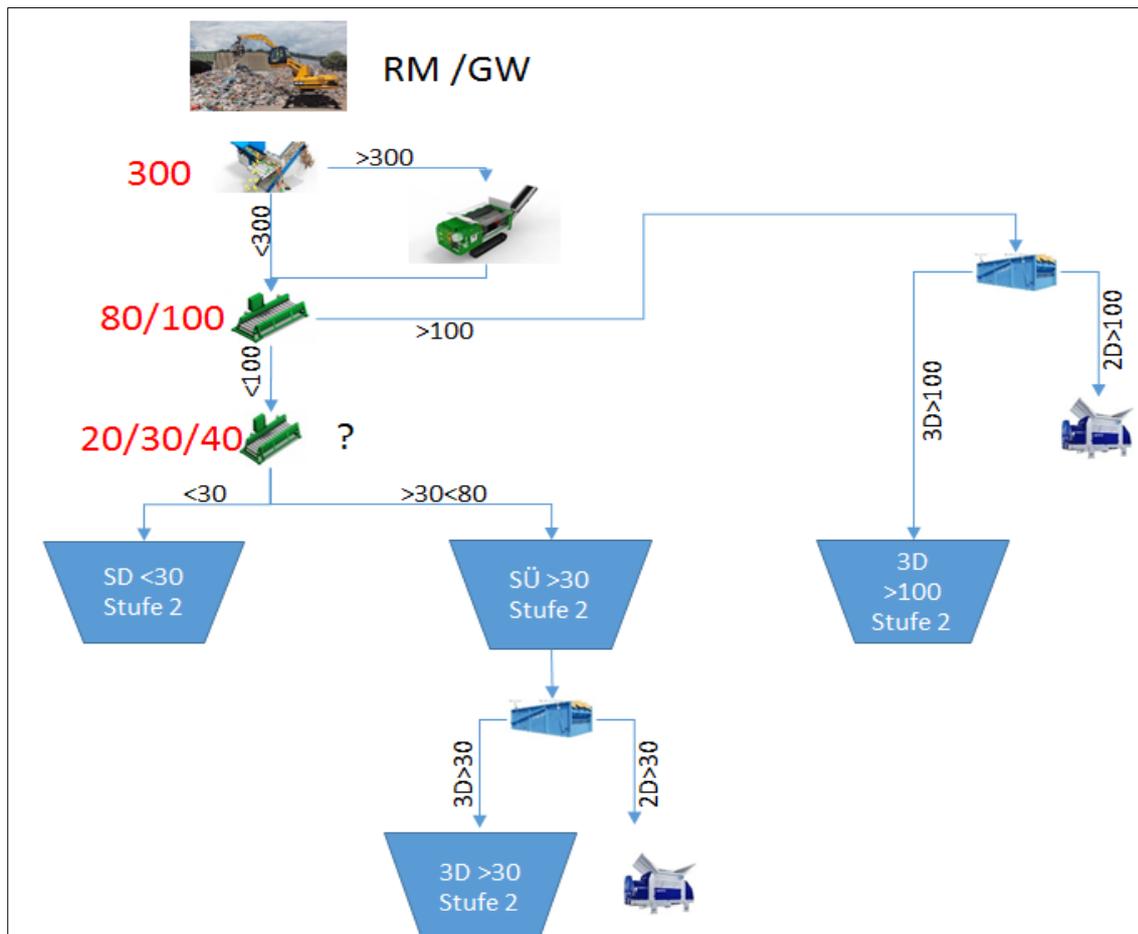


Abbildung 26: Schema 2a, Duoballistor mit Splitter

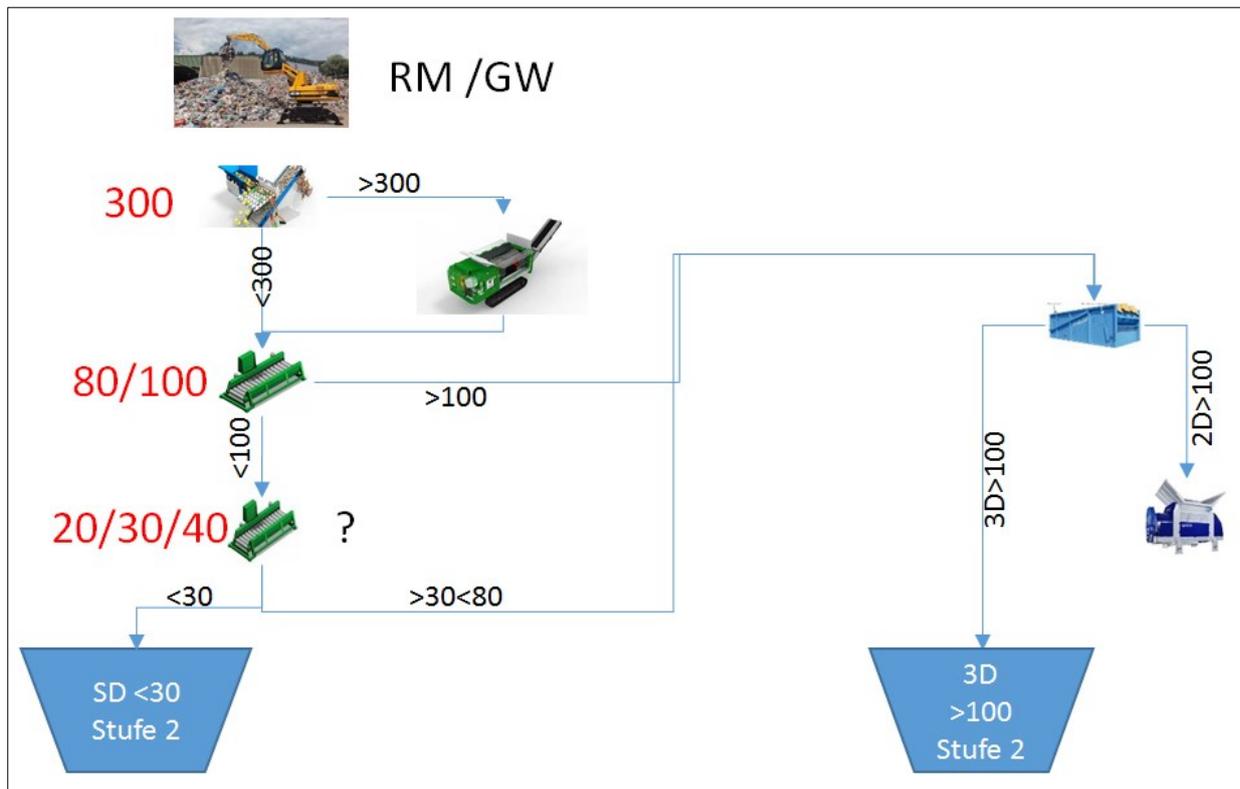


Abbildung 27: Schema 2b, Monoballistor mit Splitter

Kernelement der neuen Anlage bzw. der Testanlage ist der „Ballistor“, eine Maschine der Komptech GmbH, die Materialien ballistisch separiert – siehe Abbildung 28. Durch alternierende Kreisbewegungen der Paddel ist der aufgegebene Abfall auf der gesamten Siebfläche des Ballistors in Bewegung. Dieses wiederholte abprallen und hochschleudern der Materialien, in Kombination mit der Steigung der Siebfläche ermöglicht eine Trennung. Die flächigen leichten Materialien (2D-Fraktion), in diesem Sinne Kunststofffolien, Textilien und Papier werden mit der Steigung hinauf gefördert. Kubische runde Materialien (3D-Fraktion) hüpfen und rollen in die entgegengesetzte Richtung und werden auf der unteren Seite ausgeworfen – siehe Abbildung 30. Zusätzlich zu den genannten Fraktionen entsteht eine Siebfraktion, da auf den Paddel Siebeinsätze verschraubt sind – siehe Abbildung 29. Bei einer derartigen Maschine gibt es drei Einstellungsmöglichkeiten: die Steigung der Paddel (je steiler, desto mehr Material in der 3D Fraktion und umgekehrt, je flacher, desto mehr Material in der 2D-Fraktion), die Geschwindigkeit der Kreisbewegung der Paddel und der Sieblochung der Siebe, die auf den Paddel verschraubt sind.

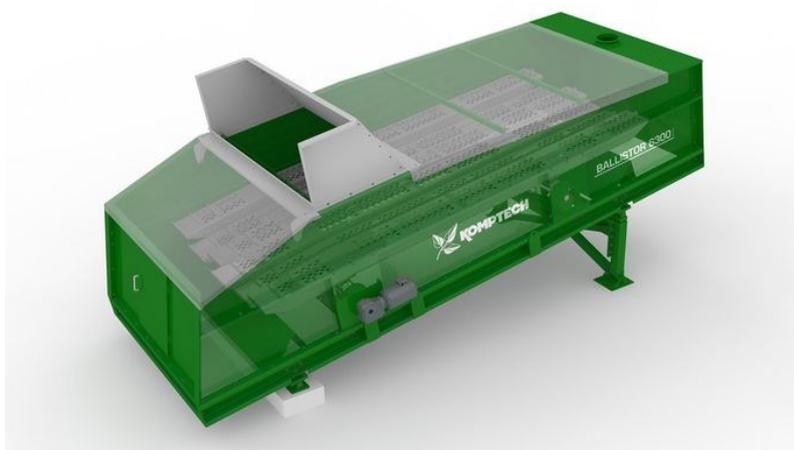


Abbildung 28: Ballistischer Separator der Komptech GmbH [1]



Abbildung 29: Paddel mit Siebplatten eines Ballistors der Komptech GmbH [1]

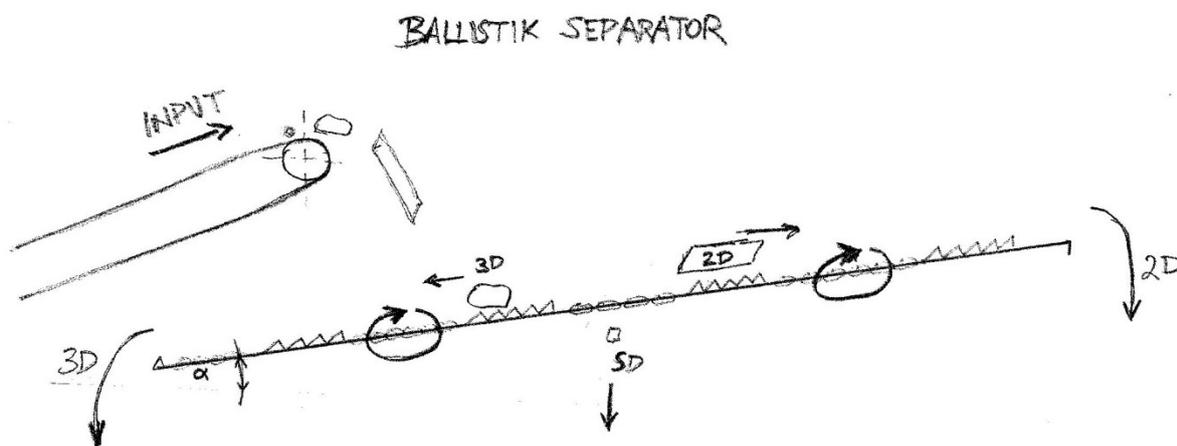


Abbildung 30: Schematische Funktionsweise eines Ballistikseparators

Auf Grund der mangelnden Verfügbarkeit eines mobilen Splitters wurde der in Rahmen dieser Arbeit beigelegte Erprobungsversuch ohne Splitter gefahren. Des Weiteren steht nur ein ballistischer Separator zur Verfügung. Aus diesen Gründen wird die Versuchsmenge in eine Fraktion > 80 mm und eine Fraktion > 20 mm geteilt und nacheinander über den Separator gefahren. Das Versuchskonzept mit sämtlichen Anlagen und Fraktionen wird in Abbildung 31 gezeigt.

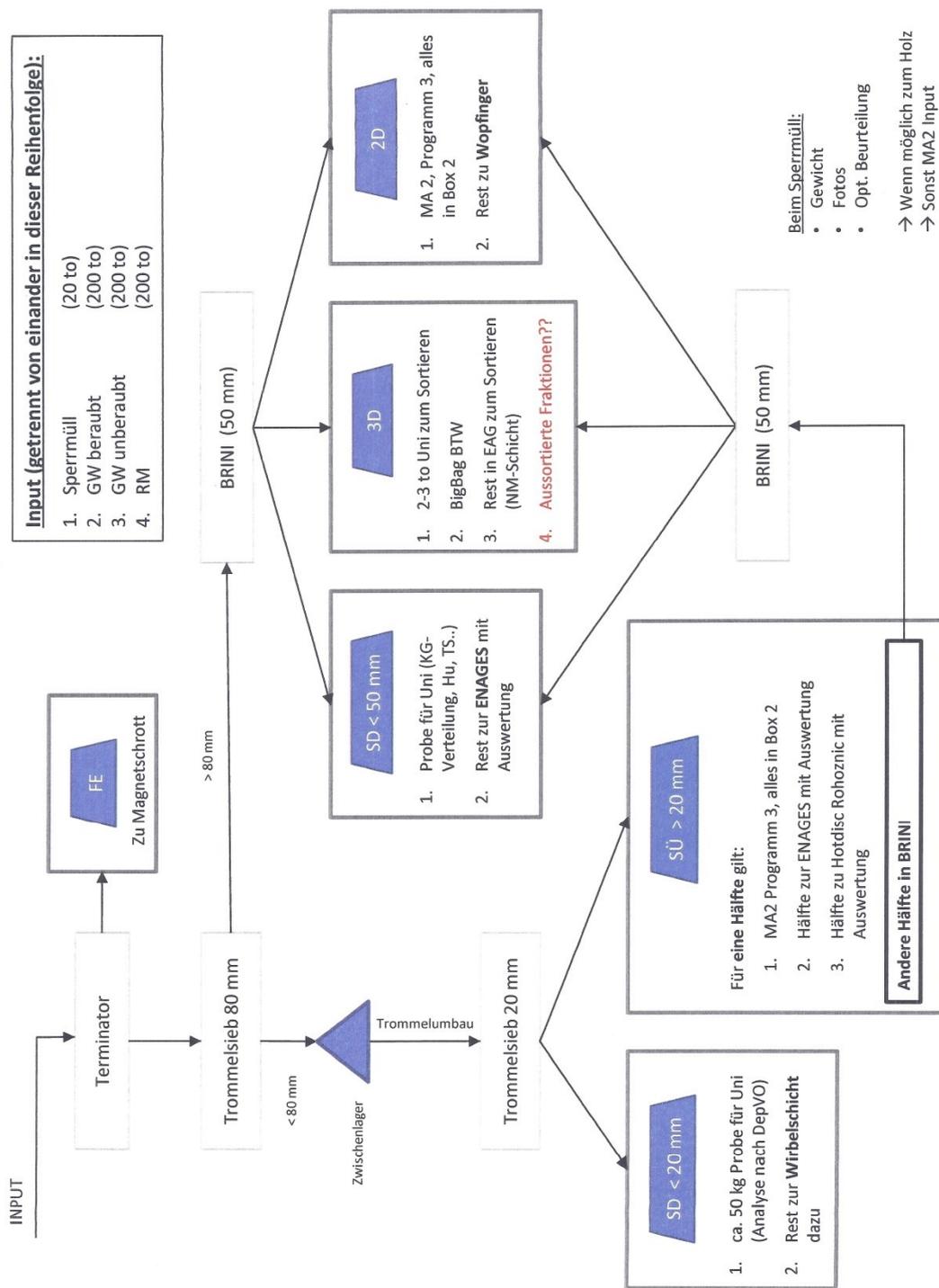


Abbildung 31: Versuchsaufbau

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Vorprobenahme

In Tabelle 9 sind die Ergebnisse der Dichtbestimmung für Mainburner-Material (MB) und die Siebfraktionen 30-60 mm sowie 60-100 mm dargestellt.

Tabelle 9: Dichte der Abfallströme

Bezeichnung	[kg]			Dichte			
				[kg/m ³]			
MB 1	22,05			183,75			
MB 2	20,24			168,67			
MB 3	23,67			197,25			durchschn.
30-60 mm	25,97	18,13	26,61	236,09	164,82	253,43	218,11
60-100 mm	27	22,6	29,95	225,00	188,33	249,58	220,97

Der ermittelte Feuchtigkeitsgehalt der Materialien Mainburner, 30-60 mm sowie 60-100 mm ist in Tabelle 10 angeführt.

Tabelle 10: Bestimmung des Wassergehaltes der Fraktionen der Vorprobenahme

Bezeichnung	Material nass 23.03	...	Material trocken 29.03	Material trocken 30.03	...	Material trocken 11.04	Material trocken 13.04	Differenz	Materialgewicht	% H ₂ O	mittl. % H ₂ O von MB
	[g]	...	[g]	[g]	...	[g]	[g]				
MB 1	2.226,7	...	2.089,6	2.092,7	...	2.085,9	2.085,9	140,8	492,2	28,61	32,82
MB 2	1.937,9	...	1.772,5	1.767,5	...	1.740,8	1.740,9	197,0	578,7	34,04	
MB 3	1.955,4	...	1.776,9	1.771,9	...	1.737,2	1.737,0	218,4	610,1	35,80	
30-60 mm	1.960,2	...	1.806,1	1.806,1	...	-	-	154,1	598,8	25,73	
60-100 mm	2.094,2	...	1.844,8	1.844,8	...	-	-	249,4	767,1	32,51	

Tabelle 11: Siebung 60-100 mm

Siebung der Vorprobenmenge 60-100 mm											
KG-Fractionen	>112 mm	100-112 mm	80-100 mm	63-80 mm	40-63 m	30-40 mm	25-30 mm	10-25 mm	1-10 mm	< 1 mm	Σ
Gewicht [g]	742	444	1.580	2.833	5.357	2.386	838	2.340	1.166	288	17.974
in Prozent [%]	4,13	2,47	8,79	15,76	29,80	13,27	4,66	13,02	6,49	1,60	100,00
Gesamt gesiebte Menge: 18.075 g						Siebverlust: 101 g, entspricht 0,55 %					

Tabelle 12: Siebung 30-60 mm

Siebung der Vorprobenmenge 30-60 mm									
KG-Fractionen	>80mm	63-80 mm	40-63 m	30-40 mm	25-30 mm	10-25 mm	1-10 mm	< 1 mm	Σ
Gewicht [g]	2.732	1.568	4.765	4.212	1.610	1.912	474	239	17.512
in Prozent [%]	15,60	8,95	27,21	24,05	9,19	10,92	2,71	1,36	100,00
Gesamt gesiebte Menge: 17.596g					Siebverlust: 84 g, entspricht 0,48 %				

Tabelle 13: Siebung Mainburner (< 30 mm)

Siebung der Vorprobenmenge Mainburner (< 30 mm)							
KG-Fractionen	>40mm	30-40 mm	25-30 mm	10-25 mm	1-10 mm	< 1 mm	Σ
Gewicht [g]	17	176	1.720	5.493	1.873	370	9.649
in Prozent [%]	0,18	1,82	17,83	56,93	19,41	3,83	100,00
Gesamt gesiebte Menge: 10.072g				Siebverlust: 423 g, entspricht 4,2 %			

Tabelle 14: Siebversuch Aufbereitungslabor

Siebversuch Aufbereitungslabor am 15.04.2016						
MB 1-3	Start	09:20	Siebdauer:	2min		
	Ende	10:15				
	~ 6 kg/h Person					
	> 31,5		< 31,5			
	5.594,5		75	[g]		
30-60 mm	Start	10:20	Siebdauer:			
	Ende	10:55	2min, auflockern, 2 min			
	~ 10 kg/h Person					
	< 31,5		31,5-63,0		> 63,0	
	1.855,5		1.789		1.638	[g]
60-100 mm	Start	11:00	Siebdauer:	2min		
	Ende	11:40				
	~ 15 kg/h Person					
	< 63,0		63,0-100,0		> 100,0	
	6.666		4.762		1.606,5	[g]

Tabelle 15: Bestimmung des Wassergehaltes der Produkte Mainburner (MB) und Kalzinator (Kal) aus Gewerbeabfall

Bezeichnung	Material nass 20.07	Material trocken 25.07	...	Material trocken 07.08	Material trocken 09.08	Differenz	Material- gewicht	% H ₂ O
[-]	[g]	[g]	...	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
MB1	1.643,0	1.636,6	...	1.631,0	1.631,1	11,9	274	4,34
MB2	1.553,5	1.548,2	...	1.543,2	1.543,3	10,2	214,4	4,76
Kal1	1.721,4	1.714,3	...	1.705,6	1.705,7	15,7	344,3	4,56
Kal2	1.723,1	1.715,0	...	1.704,6	1.704,7	18,4	359,3	5,12

4.2 Ergebnisse der Siebanalysen

In folgender Tabelle 16 sind die Ergebnisse des Vibrationssieb Versuches dargestellt.

Tabelle 16: Siebanalyse von fünf unabhängigen Mainburner-Proben

Siebanalyse Mainburner 23-25.05.2016		
	Unterkorn (< 31,5 mm) [%]	Überkorn (> 31,5 mm) [%]
MB 1	97,37	2,63
MB 2	96,85	3,15
MB 3	96,20	3,80
MB 4	96,17	3,83
MB 5	96,35	3,65
Mittelwert	96,59	3,41
Standardabw.	0,46	

4.3 Ergebnisse der Laboranalysen

Im Zuge der Vorprobenahme wurde von allen Abfallströmen Proben gezogen und auf Heizwert sowie Aschegehalt im Labor für Umwelt und Prozessanalytik untersucht. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sind in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Laboranalysewerte zu Aschegehalt und Heizwert

Probe 17.05/ Analyse- parameter	Aschegehalt [%]	Heizwert H _u TS [kJ/kg]	Wassergehalt MB vom 23.03 [%]	Standardabw. Asche MB 1-5	Standardabw. H _u TS MB 1-5
MB 1	16,2	21.300	32,8	1,68	407
MB 2	11,9	22.400			
MB 3	13,1	21.800			
MB 4	12,8	21.600			
MB 5	15,6	21.300			
Kalzinator 1	14,3	19.200			
Kalzinator 2	9,9	21.200			
SD 60 (1)	21,1	16.100			
SD 60 (2)	25,9	17.000			
SD 30 (1)	25,3	15.700			
SD 30 (2)	29,5	13.000			

4.4 Erkenntnisse des Tracertests

Abbildung 32 zeigt eine sehr geringe Wiederfindungsrate der Versuchsmenge von 19 Aluminiumdosen bei vollem Betrieb der MA 2.



Abbildung 32: Wiederfindungsrate des Tracers (Aluminiumdosen) bei Betrieb

Höhere Wiederfindungsraten gab es beim zweiten Versuch, siehe Abbildung 33 und Abbildung 34.



Abbildung 33: Nichteisen-Fraktion nach Feinzerkleinerung



Abbildung 34: Nichteisen-Fraktion des Tracers im Produktstrom

Bei den Tracertests mit PVC Rohren und Folien gelangte die gesamte Folienfraktion in die Leichtfraktion und weiter in die Mainburner-Fraktion, die schweren Kunststoffteile (PVC) sind Großteils in die Mittelfraktion (Kalzinator) und kleine PVC Teile in die Leichtfraktion gelangt.

4.5 Ergebnisse der Sortieranalysen

4.5.1 Sortieranalysen der Gewerbeabfälle (Input)

Die Erkenntnisse der Gewerbeabfallsortierungen sind folgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 18: Sortieranalyse Gewerbeabfälle 17.05.2016

Gewerbeabfall		
Sortierfraktion	Masse [kg]	Anteil [%]
Metalle	10,4	3,8
Holz	27,4	9,9
Papier	18,9	6,8
Kunststoff-Verpackungen	5,7	2,0
Inertstoffe (Glas, Stein, Keramik)*	1,5	0,5
Sortierrest	212,5	76,9
Batterien	0,077	0,028
Gesamt	276,4	100,0

*geschätzter Wert

Eine Übersicht der Sortierung, sowie den Zustand der vorliegenden Fraktionen sollen Abbildung 35 bis Abbildung 39 vermitteln.



Abbildung 35: Sortierung der Fraktionen v.l.n.r. Kunststoff-Verpackungen (KS), Restfraktion, Papier, Holz und Metalle



Abbildung 36: KS-Verpackungen erste Sortierung



Abbildung 37: Papier erste Sortierung



Abbildung 38: Holz erste Sortierung



Abbildung 39: Metalle erste Sortierung

Die Ergebnisse der zweiten Sortieranalyse vom 04.08.2016 sind in Tabelle 19 veranschaulicht.

Tabelle 19: Sortieranalyse Gewerbeabfälle 04.08.2016

Gewerbeabfall		
Sortierfraktion	Masse [kg]	Anteil [%]
Metalle	25,1	8,4
Holz	24,2	8,1
Papier	16,7	5,6
Kunststoffe	47,4	15,9
Inertstoffe (Glas, Stein, Keramik)	14,8	5,0
Sortierrest	169,5	56,9
GESAMT	297,7	100,0

Die Ergebnisse der dritten Sortieranalyse sind Tabelle 20 zu entnehmen.

Tabelle 20: Sortieranalyse Gewerbeabfälle 17.08.2016

Gewerbeabfall		
Sortierfraktion	Masse [kg]	Anteil [%]
Metalle	14,0	6,9
Holz	16,0	7,9
Papier	16,1	8,0
Kunststoffe	35,7	17,7
Inertstoffe (Glas, Stein, Keramik)	6,1	3,0
Sortierrest	113,7	56,4
GESAMT	201,6	100,0

Tabelle 21: Mittelwerte der sortierten Fraktionen

prozentuelle Mittelwerte der Fraktionen aller Sortieranalyse	
Metalle [%]	6,4%
Holz [%]	8,7%
Papier [%]	6,8%
Kunststoffe [%] *	16,8%
Inertstoffe [%] *	4,0%
Sortierrest [%] *	56,7%

* nur MW der Analyse 04.08 und 17.08

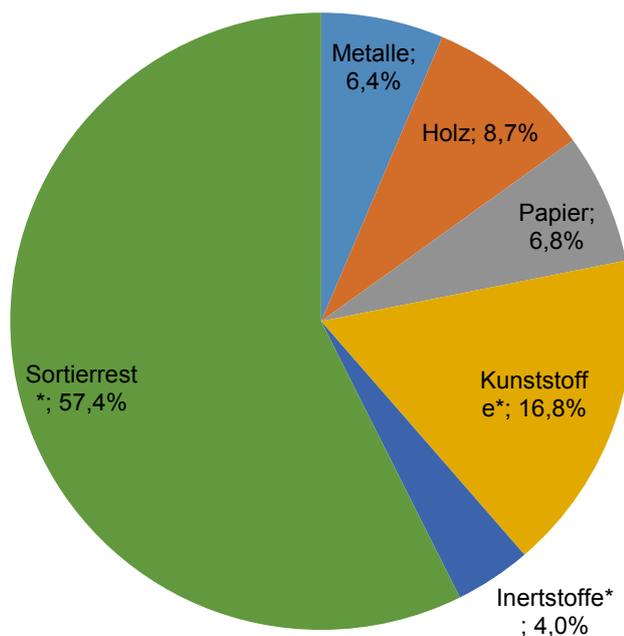


Abbildung 40: Wert- und Reststoffe in Gewerbeabfall

Tabelle 22: Jahresmassenbilanz mit hochgerechneten Werten für alle Wertstoffe entsprechend der Mittelwerte der Gewerbeabfall-Sortieranalysen

Jahresmassenbilanz 2015				
		[t/Jahr]	[t/Jahr]	
Input	Restabfall	31.025	Metalle	3.206
	Gewerbeabfall	38.018	Holz	3.091
	Kunststoffabfall	12.298	Papier	2.133
	Lager	6.293	Kunststoffe	6.054
	Σ	87.634	Inertstoffe	1.884
				Rest
				38.018

* nur MW der Analysen 04.08 und 17.08

4.5.2 Sortieranalysen der Output Produkte der Materialien Mainburner, Kalzinator und Siebdurchgang

Tabelle 23: Sortieranalyse der Materialien Mainburner (MB), Kalzinator und Siebdurchgang (SD) 60 mm; Probenahme am 17.05.2016

Bezeichnung	MB1	MB2	MB3	MB4	MB5	Kalzinator 1	Kalzinator 2	SD 60,1	SD 60,2
Holz [g]	76,8	75,9	93,3	45	45,6	38	25,8	981,8	473,2
Holz [%]	1,22	1,28	1,53	0,89	0,79	0,69	0,44	8,76	4,35
MW Holz [%]	1,14					0,57		6,55	
Standardabw. Holz [%]	0,267					-		-	
Metall [g]	56,1	58,6	25,5	44	24,7	56,5	71,3	102,2	173,9
Metall [%]	0,89	0,99	0,42	0,87	0,43	1,03	1,22	0,91	1,60
MW Metall [%]	0,72					1,12		1,25	
Standardabw. Metall [%]	0,245					-		-	
Papier [g]	-							41	36,9
Papier [%]	-							0,37	0,34
Gesamtmasse [g]	6.304,0	5.916,4	6.102,5	5.029,1	5.736,0	5.477,1	5.863,1	11.205,4	10.885,0

Tabelle 24: Sortieranalyse Mainburner (MB) und Kalzinator von Gewerbeabfall, Probenahme am 20.07.2016

Bezeichnung	MB1	MB2	MB3	Kalzinator 1	Kalzinator 2	Kalzinator 3
Holz [g]	39,8	34	36,2	105,2	85,3	91,3
Holz [%]	1,06	1,18	1,06	1,79	1,69	1,36
MW Holz [%]	1,10			1,61		
Standardabw. Holz [%]	0,059			0,181		
Metall [g]	12,3	8,8	16,1	38,4	69,8	56,5
Metall [%]	0,33	0,31	0,47	0,65	1,38	0,84
MW Metall [%]	0,37			0,96		
Standardabw. Metall [%]	0,073			0,308		
Gesamtmasse [g]	3.761,4	2.870,5	3.418,9	5.885,6	5.060,8	6.694,8

Die Ergebnisse der Sortieranalyse des Siebdurchganges sind in Tabelle 25 dargestellt und die sortierten Fraktionen in Abbildung 42 bis Abbildung 45 veranschaulicht.

Tabelle 25: Sortieranalyse von Siebdurchgang 30 mm, Probenahme am 17.08.2016

Bezeichnung	SD 30 (1)	SD 30 (2)	SD 30 (3)
Holz [g]	1.271,2	1.644,3	1.067,8
Holz [%]	12,61	12,07	7,59
MW Holz [%]	10,76		
Standardabw. Holz [%]	2,248		
Metall [g]	656,9	552	636,7
Metall [%]	6,52	4,05	4,53
MW Metall [%]	5,03		
Standardabw. Metall [%]	1,068		
Inertstoff [g]	4.742,6	3.734,3	3.752,8
Inertstoff [%]	47,05	27,40	26,68
MW Inertstoff [%]	33,71		
Standardabw. Inertstoff [%]	9,434		
Kunststoff [g]	713,2	1.001,8	892,7
Kunststoff [%]	7,07	7,35	6,35
MW Kunststoff [%]	6,92		
Standardabw. Kunststoff [%]	0,424		
Rest [g]	2.697,0	6.694,7	7.715,0
Rest [%]	26,8	49,1	54,9
MW Rest [%]	43,58		
Gesamtmasse [g]	10.080,9	13.627,1	14.065,0

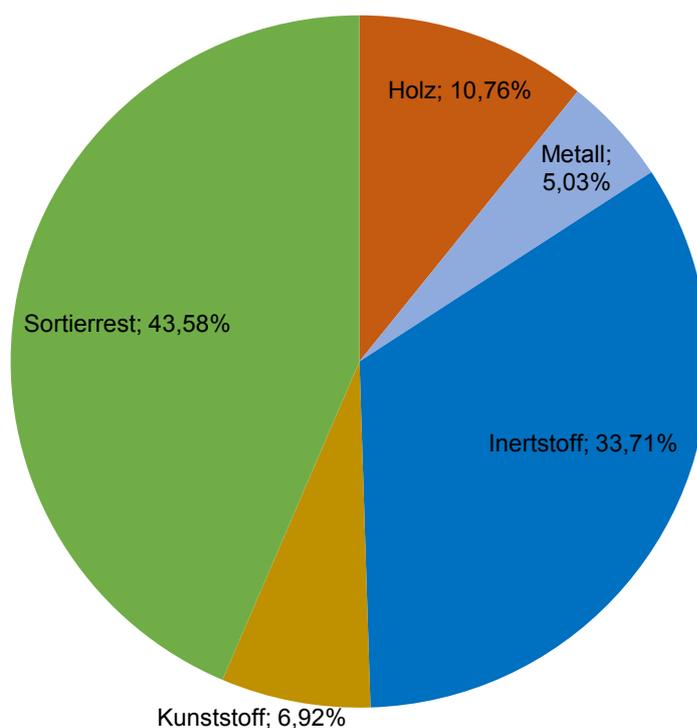


Abbildung 41: grafische Darstellung der Sortieranalyse des Siebdurchganges 30 mm



Abbildung 42: Metalle Siebdurchgang 30 mm



Abbildung 43: Holz Siebdurchgang 30 mm



Abbildung 44: Kunststoffe Siebdurchgang 30 mm



Abbildung 45: Inertstoffe Siebdurchgang 30 mm

Tabelle 26: Hochrechnung der Wertstoffverluste auf Basis der Sortieranalysen

Jahresmassenbilanz 2015			
		[%]	[t/Jahr]
Output	Mainburner-Material		15.521
	Metalle	0,72	112
	Holz	1,12	174
	Kalzinator-Material		23.813
	Metalle	1,12	267
	Holz	0,57	136
	Wirbelschichtmaterial + SD biolog./therm. Beh.		41.685
	Metalle	5,03	2.097
	Holz	10,76	4.485
	Inertstoffe	33,71	14.052
	Fe-Schrott		3.655
	NE-Schrott		250
	Schwerfraktion = Rost		2.629
	Σ		87.554

Wertstoffinhalt des Siebdurchganges, Bilanz 2015

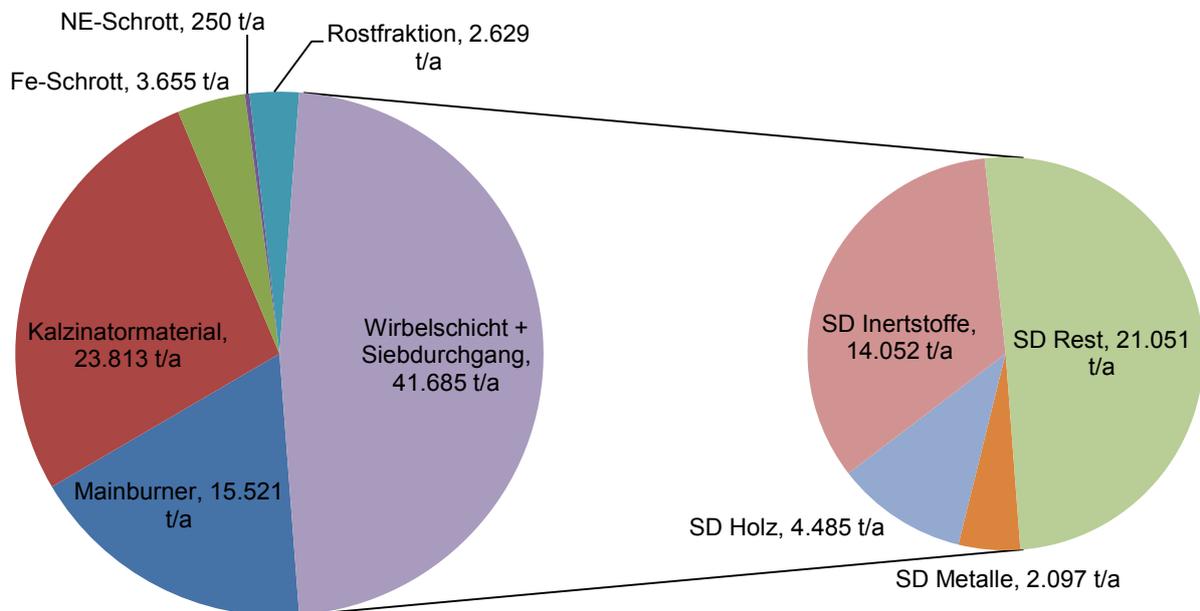


Abbildung 46: Wertstoffinhalt des Siebdurchganges lt. Sortieranalysen bezogen auf das Jahr 2015

4.6 Ergebnisse des Verschleißtests am Terminator

Auf folgenden Seiten sind die Ergebnisse der Verschleißtests des Terminators dargestellt. Dabei geht es vorrangig um den Einfluss der Werkzeugzustände auf die Zerkleinerungsqualität des Abfallstromes, dessen Durchsatzänderung sowie die Änderung des spezifischen Leistungsbedarfs.

Tabelle 27: Datenauswertung Terminator Test

	Verschleiß- zustand [-]	Abfallart [-]	Leistung [kW]	Durchsatz [m³]	Durchsatz [t]	Zeit [h]	Zeiten [min]		max. Durchsatz [t/h]	Abfall- dichte [kg/m³]	Energiebedarf pro Tonne [kWh/t]
20.07.2016	verschlissen	Restabfall	73,12	185,00	37,68	1,35	107,1	Zerkleinern (> 26 kW)	20,25	203,68	1,94
							38,0	Leerlauf (< 26 kW)			
							4,5	zyklisch retour (alle 4m, 15s)			
							0,0	Blockade retour			
20.07.2016	verschlissen	Gewerbe- abfall	114,13	162,00	18,00	2,08	90,9	Zerkleinern (> 26 kW)	11,17	111,11	6,34
							43,0	Leerlauf (< 26 kW)			
							5,8	zyklisch retour (alle 4m, 15s)			
							3,8	Blockade retour			
13.07.2016	gemischt	Restabfall	122,72	293,87	37,94	2,79	131,4	Zerkleinern (> 26 kW)	16,57	129,10	3,23
							48,0	Leerlauf (< 26 kW)			
							6,0	zyklisch retour (alle 4 min, 15 sec. retour)			
							0,0	Blockade retour			
13.07.2016	gemischt	Gewerbe- abfall	91,64	174,66	30,22	1,80	85,5	Zerkleinern (> 26 kW)	20,56	173,02	3,03
							30,3	Leerlauf (< 26 kW)			
							2,7	zyklisch retour (alle 4m, 15s)			
							2,7	Blockade retour			
28.07.2016	neu	Restabfall	69,90	197,00	41,84	1,78	50,0	Zerkleinern (> 26 kW)	46,02	212,39	1,67
							13,3	Leerlauf (< 26 kW)			
							4,5	zyklisch retour (alle 4 min, 15 sec. retour)			
							0,2	Blockade retour			
							43,4	Stillstandzeit im Messbereich			
29.07.2016	neu	Gewerbe- abfall	73,40	154,00	17,78	2,20	53,9	Zerkleinern (> 26 kW)	17,51	115,45	4,13
							30,8	Leerlauf (< 26 kW)			
							7,0	zyklisch retour (alle 4m, 15s)			
							3,9	Blockade retour			
							43,42	Stillstandzeit im Messbereich			

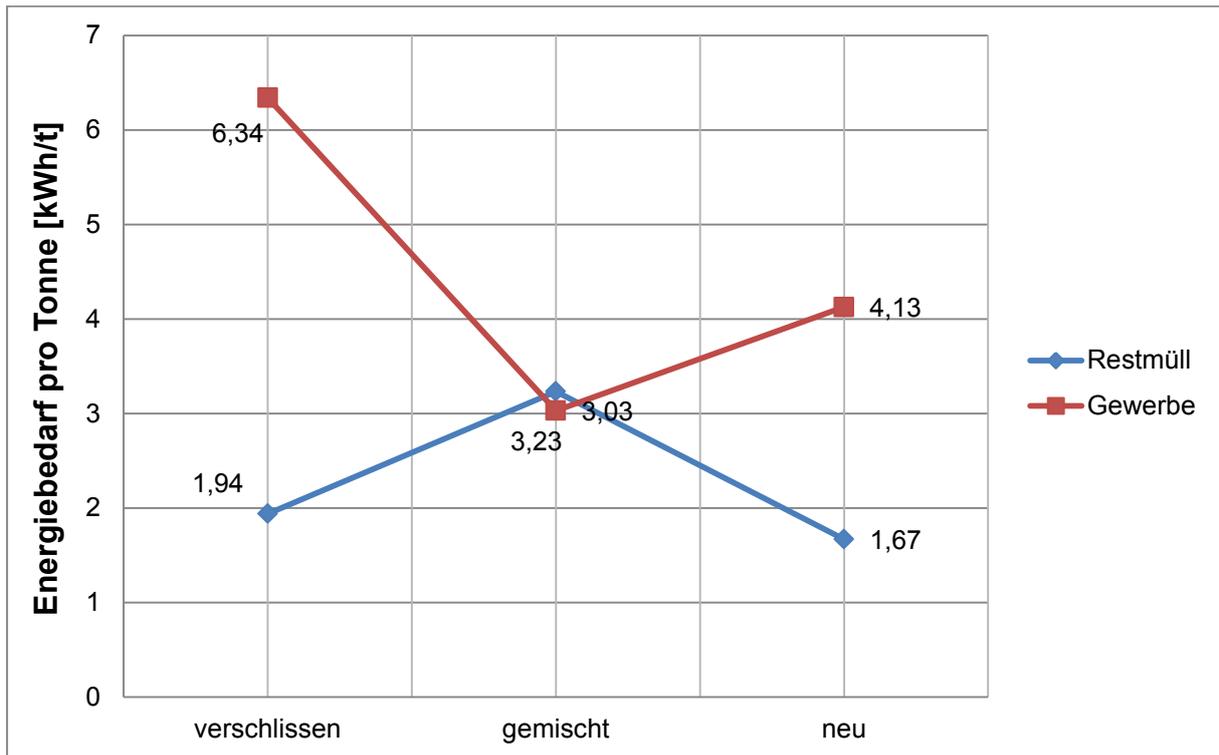


Abbildung 47: spezifische Energieaufnahme pro Tonne Material [kWh/t]

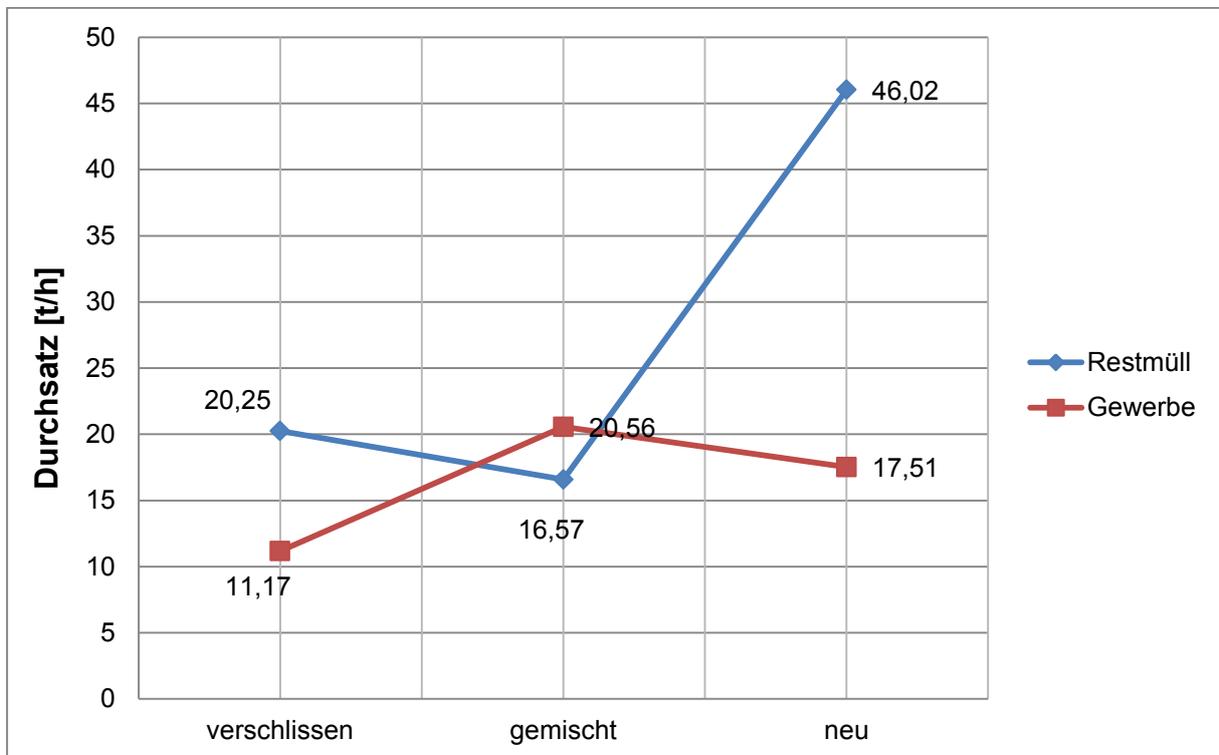


Abbildung 48: Durchsatz [t/h]

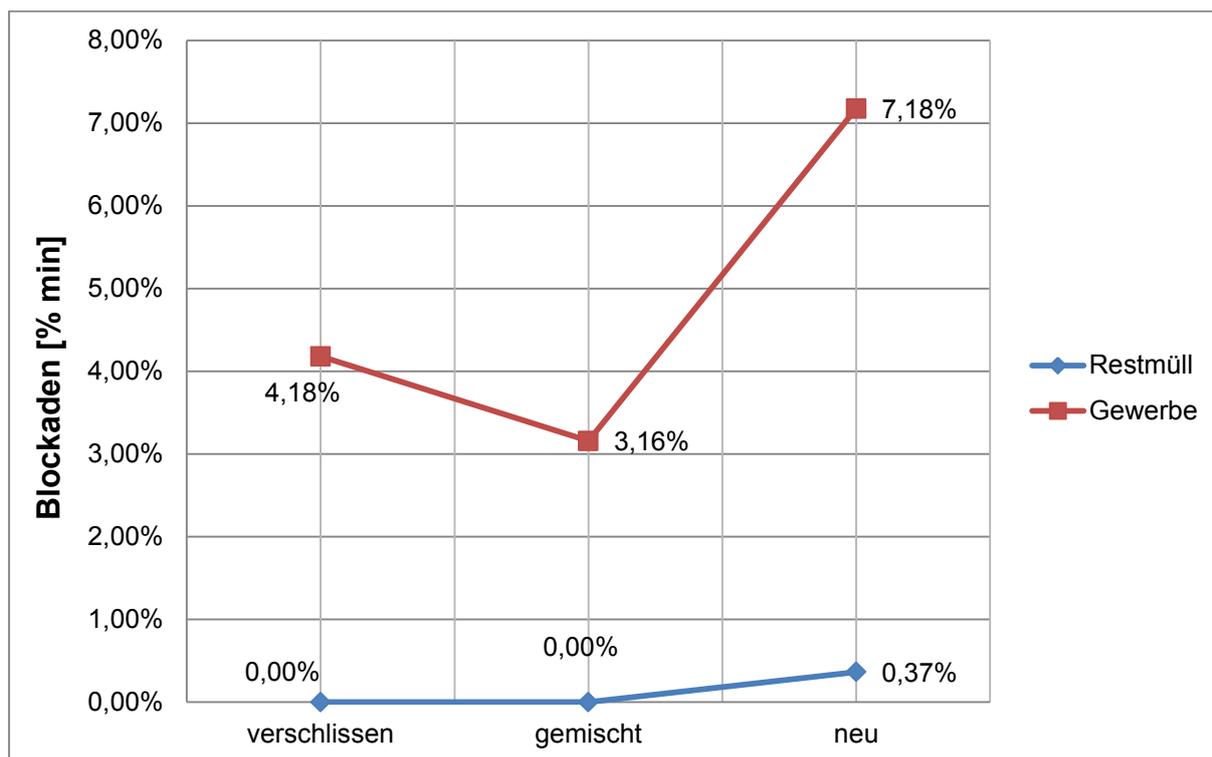


Abbildung 49: prozentueller Anteil der Blockaden bezogen auf die Zerkleinerungszeit

Bei der Siebanalyse zur Ermittlung der Korngrößenverteilung sind folgende, in Tabelle 28 bis Tabelle 33, dargestellte Werte ermittelt worden.

Tabelle 28: Siebanalyse Restabfall, verschlissener Zahnzustand

Restabfall, verschlissener Zahnzustand							
Maschenweite Einheit	Boden [mm]	11,2-25 [mm]	25-50 [mm]	50-100 [mm]	100-150 [mm]	> 150 [mm]	Σ Masse [kg]
1. Siebung [kg]	3,10	1,85	2,65	4,75	5,30	3,70	21,35
2. Siebung [kg]	2,70	1,65	2,55	5,60	7,10	3,60	23,20
3. Siebung [kg]	1,50	1,25	2,10	6,15	5,90	5,45	22,35
4. Siebung [kg]	3,60	6,20	3,50	2,50	3,10	5,90	24,80
5. Siebung [kg]	2,25	2,05	2,20	5,00	2,95	8,55	23,00
Mittelwert Siebung 1-5	2,63	2,60	2,60	4,80	4,87	5,44	
gesamte Probemenge:							114,70

Tabelle 29: Siebanalyse Gewerbeabfall, verschlissener Zahnzustand

Gewerbeabfall, verschlissener Zahnzustand							
Maschenweite Einheit	Boden [mm]	11,2-25 [mm]	25-50 [mm]	50-100 [mm]	100-150 [mm]	> 150 [mm]	Σ Masse [kg]
1. Siebung [kg]	1,80	0,85	1,00	3,20	3,30	6,05	16,20
2. Siebung [kg]	1,75	1,00	1,15	3,10	1,95	8,30	17,25
3. Siebung [kg]	1,45	0,90	1,75	5,05	2,15	5,95	17,25
4. Siebung [kg]	2,40	1,40	2,75	7,95	2,90	2,65	20,05
5. Siebung [kg]	3,45	1,85	3,15	5,20	1,65	3,00	18,30
Mittelwert Siebung 1-5	2,17	1,20	1,96	4,90	2,39	5,19	
gesamte Probemenge:							89,05

Tabelle 30: Siebanalyse Restabfall, gemischter Zahnzustand

Restabfall, gemischter Zahnzustand							
Maschenweite Einheit	Boden [mm]	11,2-25 [mm]	25-50 [mm]	50-100 [mm]	100-150 [mm]	> 150 [mm]	Σ Masse [kg]
1. Siebung [kg]	2,65	2,10	3,25	6,20	3,55	6,15	23,90
2. Siebung [kg]	3,35	2,20	2,60	7,05	4,40	3,55	23,15
3. Siebung [kg]	4,05	2,40	3,25	6,30	2,95	6,55	25,50
4. Siebung [kg]	2,70	2,10	3,85	7,55	3,65	6,10	25,95
5. Siebung [kg]	3,30	2,60	3,70	7,85	5,05	2,55	25,05
Mittelwert Siebung 1-5	3,21	2,28	3,33	6,99	3,92	4,98	
gesamte Probemenge:							123,55

Tabelle 31: Siebanalyse Gewerbeabfall, gemischter Zahnzustand

Gewerbeabfall, gemischter Zahnzustand							
Maschenweite Einheit	Boden [mm]	11,2-25 [mm]	25-50 [mm]	50-100 [mm]	100-150 [mm]	> 150 [mm]	Σ Masse [kg]
1. Siebung [kg]	1,55	1,30	2,35	5,85	2,65	3,85	17,55
2. Siebung [kg]	1,25	1,00	1,90	4,25	3,50	4,60	16,50
3. Siebung [kg]	2,15	1,70	2,20	4,95	2,05	2,30	15,35
4. Siebung [kg]	1,60	0,90	0,95	3,15	2,45	6,55	15,60
5. Siebung [kg]	0,65	0,55	1,20	2,75	2,65	4,00	11,80
Mittelwert Siebung 1-5	1,44	1,09	1,72	4,19	2,66	4,26	
gesamte Probemenge:							76,80

Tabelle 32: Siebanalyse Restabfall, neuwertiger Zahnzustand

Restabfall, neuwertiger Zahnzustand							
Maschenweite Einheit	Boden [mm]	11,2-25 [mm]	25-50 [mm]	50-100 [mm]	100-150 [mm]	> 150 [mm]	Σ Masse [kg]
1. Siebung [kg]	2,00	1,25	2,65	5,70	3,20	4,50	19,30
2. Siebung [kg]	4,70	2,50	4,30	8,75	4,00	4,55	28,80
3. Siebung [kg]	2,75	1,70	3,20	5,70	2,55	5,40	21,30
4. Siebung [kg]	3,59	2,35	4,35	8,10	5,85	2,90	27,14
5. Siebung [kg]	3,70	2,80	4,90	11,10	5,20	5,90	33,60
Mittelwert Siebung 1-5	3,35	2,12	3,88	7,87	4,16	4,65	
gesamte Probemenge:							130,14

Tabelle 33: Siebanalyse Gewerbeabfall, neuwertiger Zahnzustand

Gewerbeabfall, neuwertiger Zahnzustand							
Maschenweite Einheit	Boden [mm]	11,2-25 [mm]	25-50 [mm]	50-100 [mm]	100-150 [mm]	> 150 [mm]	Σ Masse [kg]
1. Siebung [kg]	1,30	0,45	1,30	3,15	2,55	5,65	14,40
2. Siebung [kg]	3,70	1,70	2,45	3,80	2,40	3,65	17,70
3. Siebung [kg]	2,35	1,00	1,95	4,90	1,65	2,90	14,75
4. Siebung [kg]	1,50	0,70	1,10	4,55	3,15	5,80	16,80
5. Siebung [kg]	1,40	0,95	2,20	7,30	2,00	2,50	16,35
Mittelwert Siebung 1-5	2,05	0,96	1,80	4,74	2,35	4,10	
gesamte Probemenge:							80,00

Abbildung 50: Mittelwerte der Restabfallsiebung, aller Zahnzustände

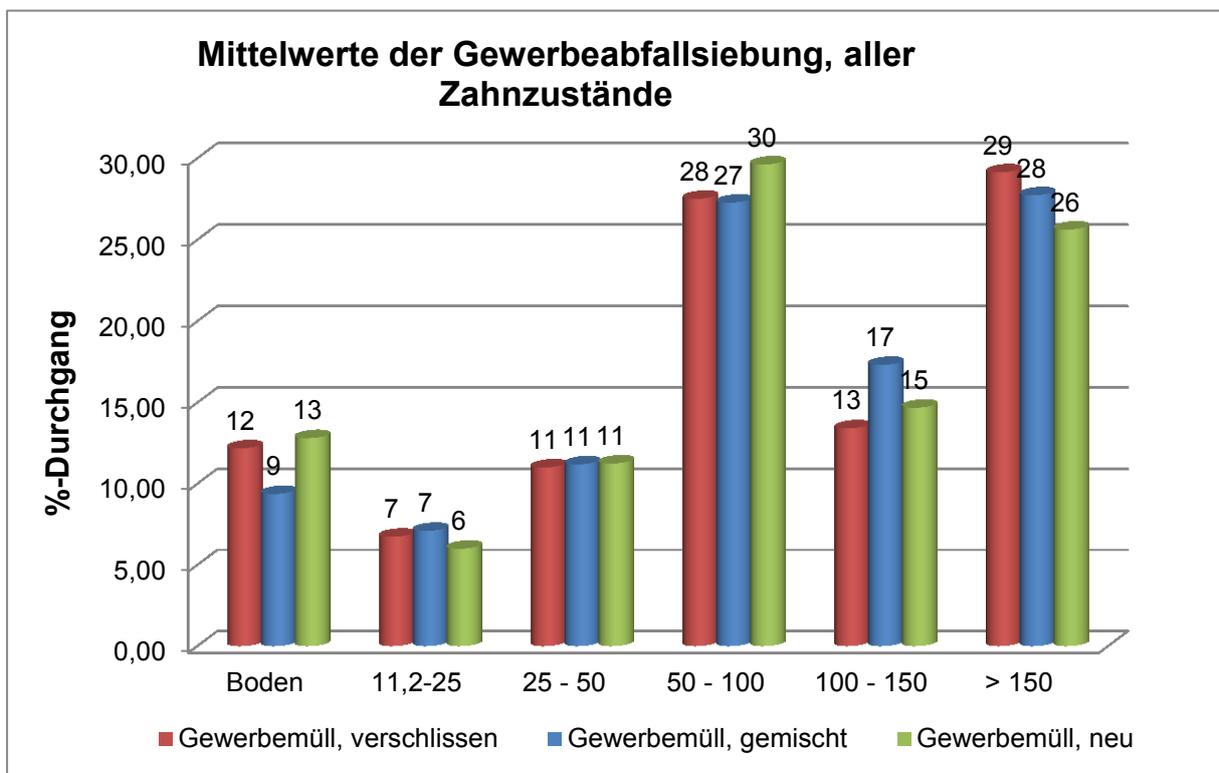


Abbildung 51: Mittelwerte der Gewerbeabfallsiebung, aller Zahnzustände

Im Sinne einer übersichtlicheren Darstellung, wurden die Ergebnisse der Siebanalysen grafisch dargestellt. In Abbildung 52 und Abbildung 53 ist der prozentuelle Anteil pro 1 mm Fraktion, der Korngröße in mm gegenübergestellt. Die Berechnung der Einheit für die Ordinate (y-Achse) gestaltet sich wie folgt:

$$\% \text{ pro } 1 \text{ mm Fraktion} = \frac{\text{Anteil Siebfraktion } [\%]}{(\text{oberer Lochung } [\text{mm}] - \text{untere Lochung } [\text{mm}])}$$

Es soll mit Hilfe dieser Darstellung ein Zusammenhang bzw. Verhältnis zwischen geringen Mengen in kleinen Sieblochungen und größeren Mengen in großen Sieblochungen hergestellt werden.

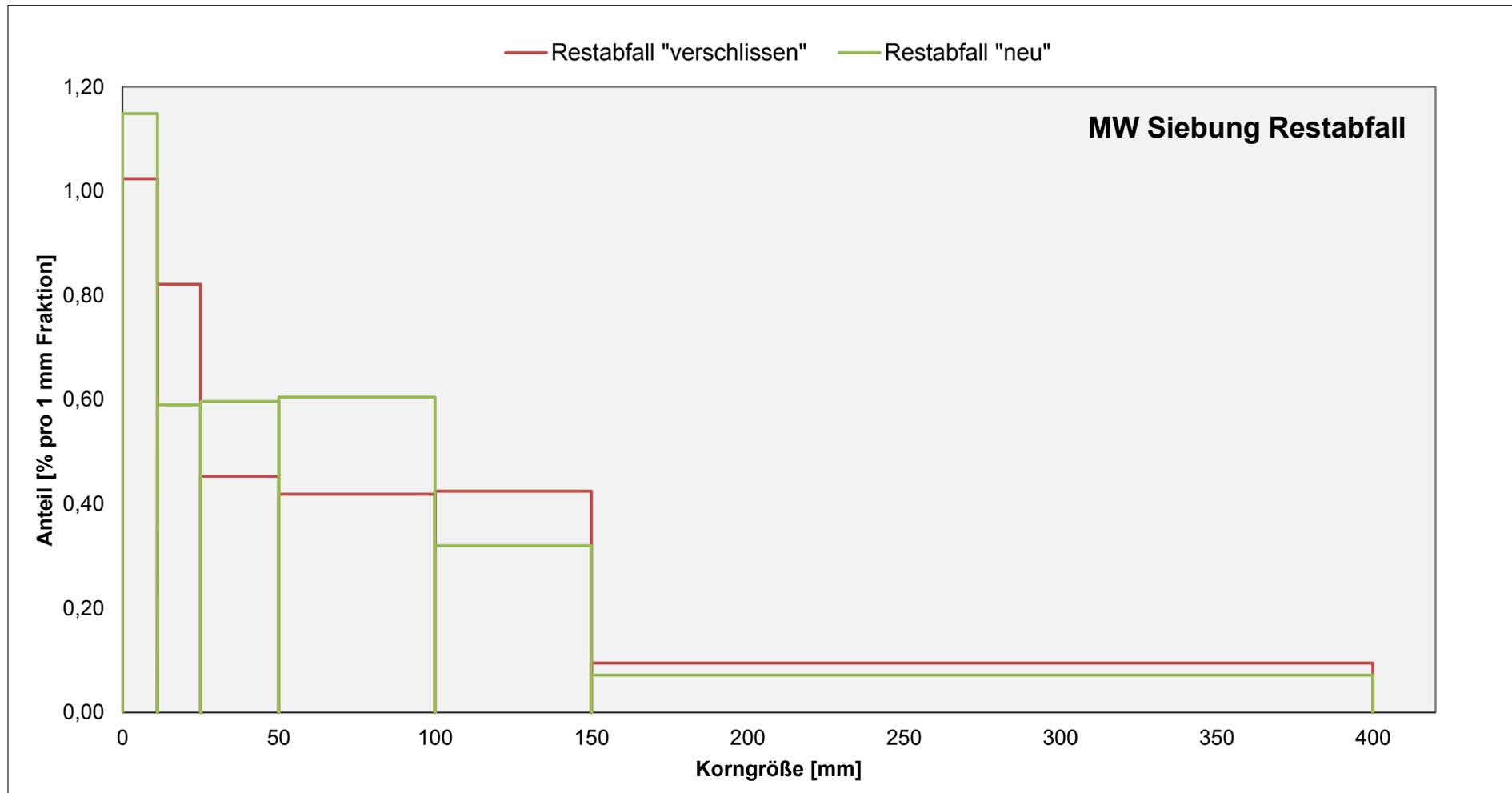


Abbildung 52: Auswertung der Mittelwerte der Restabfallsortierungen

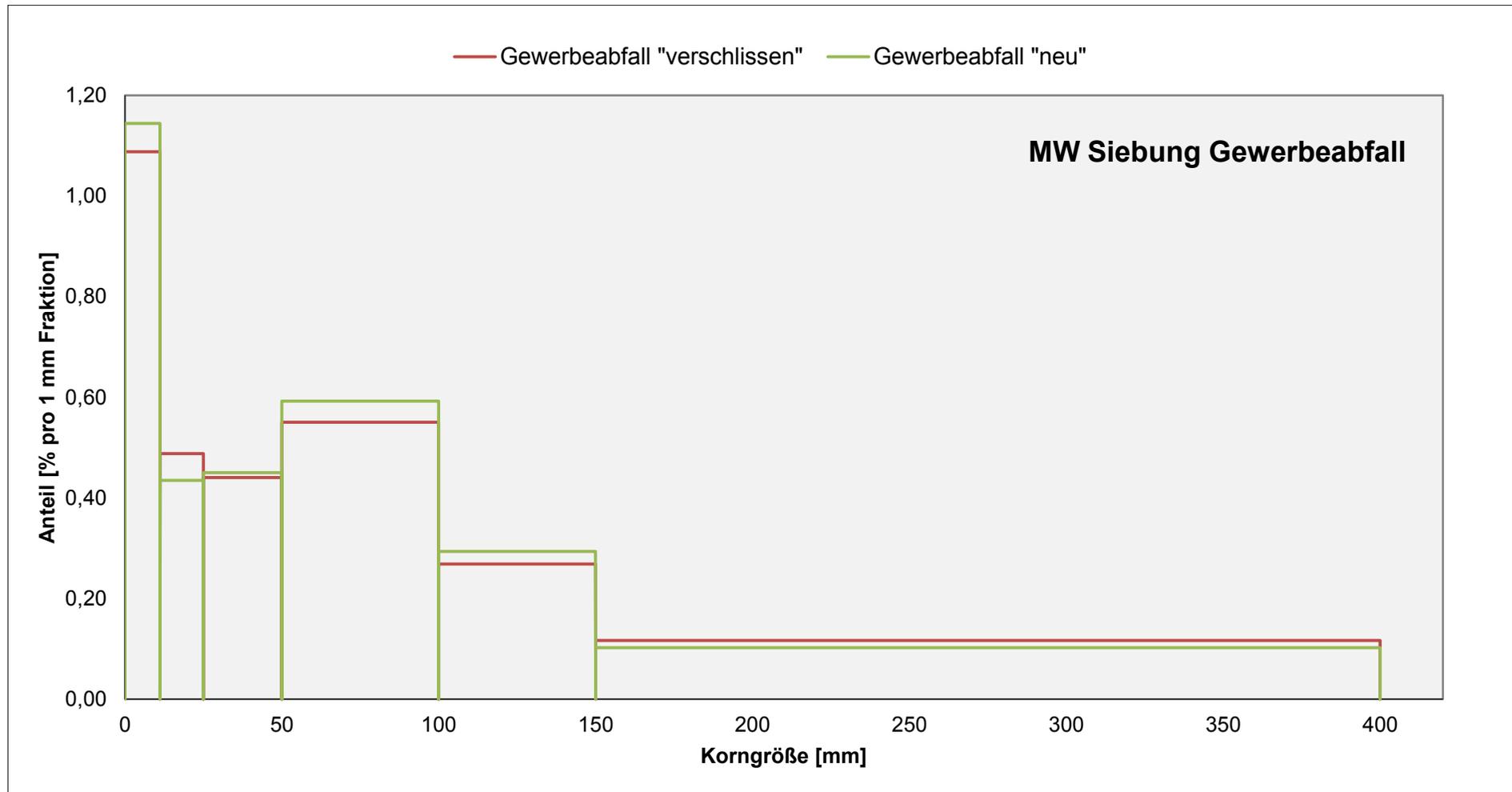


Abbildung 53: Auswertung der Mittelwerte der Gewerbeabfallsortierungen

Bei der zweiten grafischen Darstellungsvariante der Siebergebnisse sind auf der linken y-Achse die Rückstandsprozent und auf der rechten y-Achse der Anteil der Siebfraction gegen die Korngrößen auf der x-Achse aufgetragen. Der prozentuelle Rückstand ist die Aufsummierung des prozentuellen Anteils eine Korngrößenklasse, der sich aus dem Gewicht der Korngrößenklasse bezogen auf das Gesamtgewicht ergibt.

$$\text{Anteil [\%]} = \frac{\text{Gewicht einer Korngrößenklasse [kg]}}{\text{Gesamtgewicht der Probe [kg]}} * 100$$

Dargestellt sind die Ergebnisse der Auswertung wieder separat für Restabfall, siehe Abbildung 54, und für Gewerbeabfall, siehe Abbildung 55.

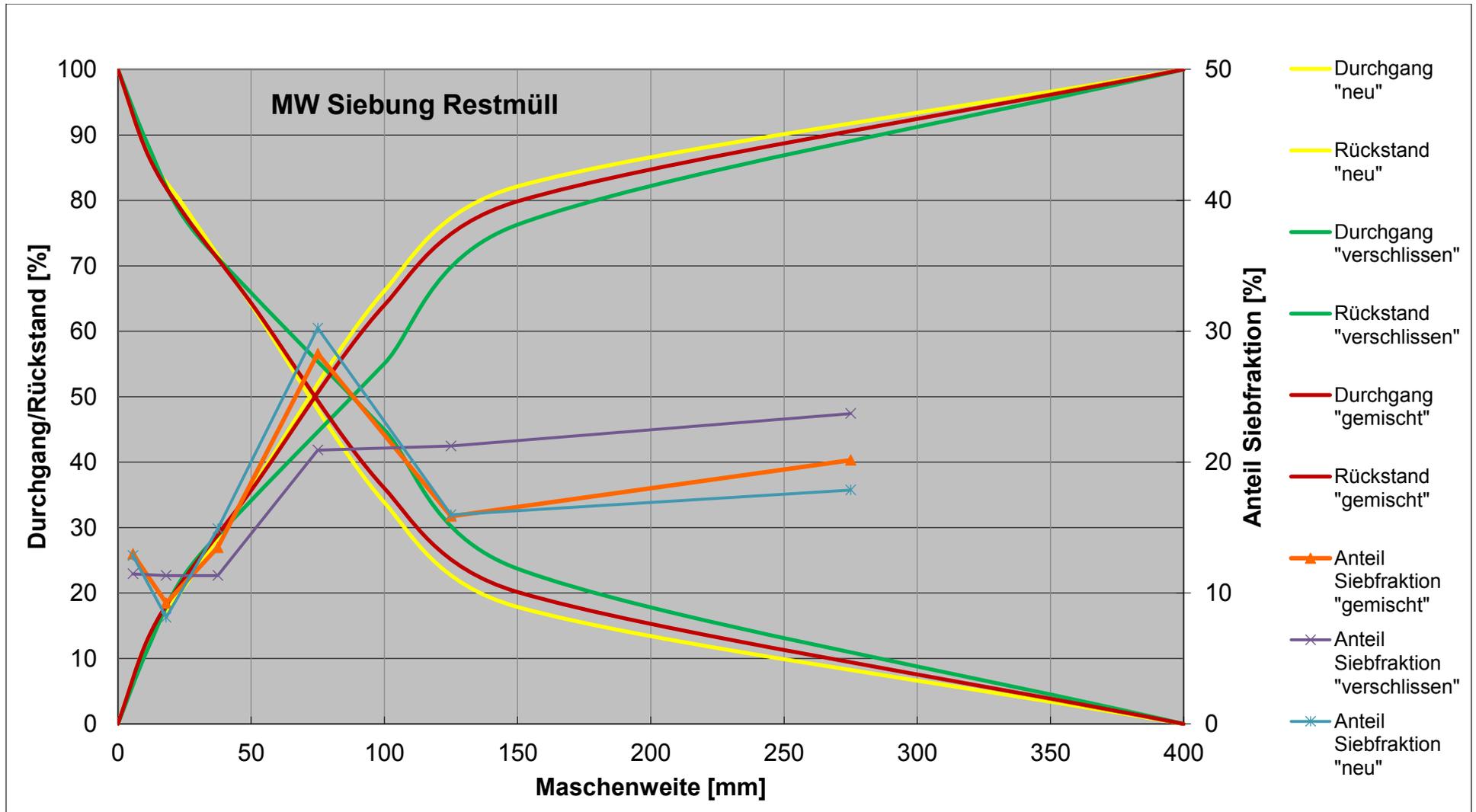


Abbildung 54: Darstellung des Rückstandes, sowie des Gewichtsanteils gegen die Korngrößen für die Mittelwerte des Restabfalls

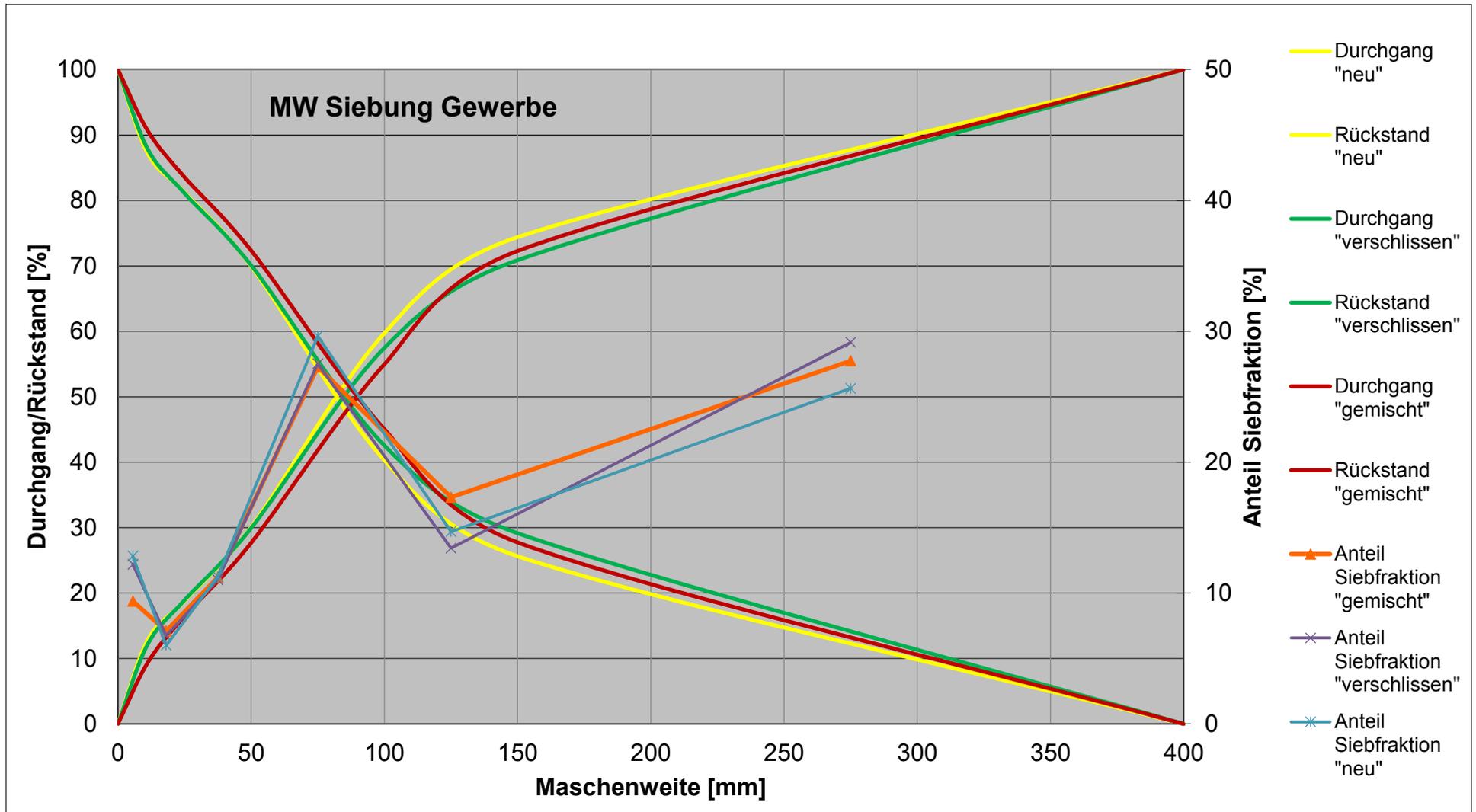


Abbildung 55: Darstellung des Rückstandes, sowie des Gewichtsanteils gegen die Korngrößen für die Mittelwerte des Gewerbeabfalles

5 Diskussion

Die Charakterisierung und Beschreibung der Materialströme, die als Input in die Anlage kommen und jene, die als Output die Anlage verlassen, stellt einen essenziellen Teil dieser Forschungsarbeit dar. Das Wissen um Massen, Stör- und Wertstoffinhalte, sowie chemisch-physikalische Eigenschaften aller Materialströme ist wichtig, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Entscheidungen, die eine Abfallaufbereitungsanlage nach dem modernsten Stand der Technik entstehen lassen.

5.1 Vorprobenahme

Die Vorprobenahme fand in einem frühen Stadium der Forschungsarbeit statt. Ziel war es, die Anlage MA 2 bzw. die anfallenden Stoffströme kennen zu lernen. Hierzu wurden die Fraktionen Mainburner, Siebüberlauf 30 mm Sieb (30-60 mm) und Siebüberlauf 60 mm Sieb (60-100 mm) für eine genauere Betrachtung ausgewählt. Erkenntnisse, die daraus gewonnen wurden sind: Dichtebestimmung, Feuchtigkeitsgehalt, Korngrößenverteilung, sowie der zeitliche Aufwand, diese Fraktionen zu sieben.

Wird von einer Restabfalldichte von rund 350-500 kg/m³, je nach Feuchtegehalt und Jahreszeit, ausgegangen, zeigt sich, dass sich im Verlauf des Aufbereitungsprozesses die Dichte der Fraktionen stetig verringert. So sind es bei Fraktion 60-100 mm noch durchschnittliche 220 kg/m³ (Durchschnittswert aus drei Dichtemessungen, wie in Kapitel 3.5 beschreiben), bei Fraktion 30-60 mm 218 kg/m³ und beim Endprodukt Mainburner nur mehr durchschnittlich 183 kg/m³. Diese Betrachtung ist nachvollziehbar, da der feuchte Organik-Feinanteil durch Siebung abnimmt. Als Schlussfolgerung stehen logistische Aspekte im Vordergrund, da eine Lagerung des rohen Restabfalls effizienter scheint als die Lagerung des fertigen Mainburner-Produktes. Auch im Sinne des Brandschutzes ist eine Lagerung des Restabfalls, einer Lagerung fertiger Mainburner-Produkte vorzuziehen.

Die Trocknung und damit die Bestimmung der Feuchtigkeit bzw. des Wassergehaltes zeigt, dass trotz der vorhergehenden Aufbereitung der Wassergehalt in den Mainburner-Fraktionen, abhängig vom Input-Material, sehr unterschiedlich ist. Der Wassergehalt einer Abfallmischung aus Restabfall und Gewerbeabfall (Volumenverhältnis 1:2) ist mit einem Durchschnittswert von 32 % H₂O zumindest gleich, wenn nicht höher als in den beiden anderen Fraktionen (30-60 mm ~28% H₂O, 60-100 mm ~32,5% H₂O). Der hohe Wassergehalt im Produkt, hergestellt aus einer Abfallmischung, ist nicht wünschenswert: einerseits wegen möglicher Anpackungen bei der Verbrennung im Zementwerk sowie daraus resultierenden Lagerungsschwierigkeiten; andererseits wegen einer erheblichen Senkung des Heizwertes. Wird von einem Heizwert von 22-25 MJ/kg für die Primärfeuerung [2.1] ausgegangen, vermindert das enthaltene Wasser mit einer Verdampfungsenthalpie von 2,26 MJ/kg den Heizwert um rund 10%. Der Wassergehalt im Endprodukt ist abhängig von dem verwendeten Abfall-Input. Bei den in Tabelle 10 dargestellten Werten handelt es sich um eine Mischung aus Rest- und Gewerbeabfall (Volumenverhältnis 1:2). Bei einer EBS Produktion aus reinem Gewerbeabfall ist der Wassergehalt mit nur 4-5 % deutlich geringer – siehe Tabelle 15. Gründe hierfür liegen wie bereits erwähnt darin, dass im Gewerbeabfall auf

Grund seiner Herkunft weniger feuchtes organisches Material enthalten ist und die Lagerung der Abfälle in diesem Falle unter Dach stattfand. Da es sich hierbei um ein untypisches Mainburner-Produkt der Anton Mayer GmbH handelt, wird dieses Ergebnis nicht weiter diskutiert.

Die Siebung der Abfallproben mit dem laboreigenen Schüttelsieb war auf Grund der Materialeigenschaften der trockenen Abfallfraktionen (sehr leicht auf Grund der geringen Dichte, flüchtig, verklebt) aufwendig und zeitintensiv. Zudem mussten die Materialien immer wieder von Hand vereinzelt werden. Die große Anzahl an Siebböden hat ebenfalls zu einem enormen Zeitaufwand von rund 10 min für Mainburner, 6 min für Fraktion 30-60 mm und 4 min für Fraktion 60-100 mm, jeweils auf ein Kilogramm Probemenge bezogen, geführt – siehe Tabelle 14. Eine Siebung von mehreren Proben, mit mehreren Siebböden und dem vorhandenen Schüttelsieb war nicht zielführend. Um eine vernünftige Siebung dieses Materials durchzuführen war eine vertikale Siebbewegung erforderlich.

Wie der Siebversuch zeigte, stellte sich vor allem bei den Fraktionen 60-100 mm (Tabelle 11) und 30-60 mm (Tabelle 12) nicht der erwartete Siebschnitt ein. Gründe hierfür liegen bei den zum Teil stark zugewachsenen Sieben der MA 2 bzw. bei den teilweise bewusst abgedeckten Siebflächen. Es wird hier also bewusst die Siebqualität verändert, weshalb die Charakterisierung der Fraktionen 60-100 mm und 30-60 mm nicht weiter verfolgt wurde. Bei der Mainburner-Fraktion < 30 mm (Tabelle 13) zeigte sich, dass nur ein verschwindend geringer Anteil, rund 2 %, größer 30 mm waren. Zur Bestätigung dieses Erkenntnis wurde eine Siebung mit fünf unabhängigen Mainburner-Proben und einem Vibrationssieb durchgeführt – siehe Tabelle 16. Die Siebung zeigte, dass erneut nur ein kleiner Teil, genau 3,4 %, der Probemenge größer 30 mm war. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Feinzerkleinerer ausgezeichnet arbeiten. Vor dem Hintergrund, dass es sich bei den beiden Feinzerkleinerern um das Durchsatz-Nadelöhr der Aufbereitungsanlage handelt, erscheinen die nur 3 % Überkorn als Fleißaufgabe. Hier könnten durch größere Siebkörbe in den Zerkleinerern Verschleiß- und Energiekosten gespart, sowie der Durchsatz erheblich erhöht werden. Das nachgeschaltete, bereits vorhandene Polzeisieb (Anlagennummer 64, lt. Abbildung 9) könnte jenen Anteil > 30 mm aus dem Produktstrom entfernen. Da besagtes Polzeisieb nach heutigem Stand eine 60-90 mm Sieblochung (je nach Drehzahl der Siebsterne) besitzt, ist eine Siebfunktion aber de facto nicht vorhanden.

5.2 Tracertest

Die Wiederfindungsraten beim ersten Tracerversuch mit Aluminiumdosen waren sehr gering. Die zerkleinerten Dosen waren bei laufendem Betrieb auch optisch auf Grund des großen Materialflusses kaum zu erkennen. Der zweite Versuch, bei dem die Dosen direkt in den leeren Feinzerkleinerer gelegt wurden, war erfolgreicher. Hier waren die Wiederfindungsraten höher, wobei wieder nur ein geringer Teil der Dosen vom NE-Abscheider abgetrennt wurde, der Großteil landete im Kalzinator-Outputbunker und somit im Produkt. In Abbildung 33 und Abbildung 34 ist der Unterschied der Fraktionen zu sehen. Befinden sich im Produktstrom ausschließlich dünne Dosenfetzen, befinden sich in der NE-Fraktion zusammengedrückte dickere und größere Dosenteile. Dies lässt es Schluss zu, dass in den kleinen Aluminiumstücken ein zu geringes Wirbelstromfeld und daraus folgend ein zu geringes Magnetfeld induziert wird, um diese Stücke effektiv auswerfen zu können. Da diese kleinen Aluminiumstücke schon bei leeren Bändern nicht ausgeschleust wurden, ist davon auszugehen, dass der Wirkungsgrad bei vollem Betrieb mit belegten Bändern erheblich schlechter ist.

Der Verlust an Metallen (vorrangig NE-Metallen) welche nicht erfasst werden können kann mit Hilfe der Output Sortieranalysen des Mainburner,- und Kalzinator-Stromes ermittelt werden. Es zeigt sich, dass rund 0,7 % Metalle (entspricht 112 Tonnen für Bilanz 2015) in die Mainburner-Fraktion gelangen, sowie rund 1,1 % Metalle (entspricht 238 Tonnen für Bilanz 2015) in die Kalzinator-Fraktion gelangt sind. Wie aus Abbildung 56 zu erkennen ist, handelt es sich bei den sortierten Metallen vorrangig um Nichteisen-Metalle sowie Kupferdrähte.



Abbildung 56: Sortierte Metall-Fraktion aus Mainburner

5.3 Sortieranalysen – Gewerbeabfall Input

Es wurden drei Sortieranalysen des Gewerbeabfalls durchgeführt. Bei der ersten Siebung wurden sechs Fraktionen (Metalle, Holz, Papier, Kunststoff-Verpackungen, Interstoffe, sowie Sortierrest) sortiert – siehe Tabelle 18. Es wurde bewusst auf Kunststoff-Verpackungen sortiert, welche zu einem großen Teil aus PET (Polyethylenterephthalat) bestehen, da bei diesem Kunststoff die größten stofflichen Verwertungsmöglichkeiten gegeben sind. Durch Verschmutzungen konnte nur eine geringe Menge (2 %) Verpackungs-Kunststoffe ausfindig gemacht werden. Bei der Masse der Inertstoffe (Glas, Stein, Keramik) handelt es sich bei den 0,5 % um einen geschätzten Wert, da die Fraktion vor der Verwiegung unabsichtlich vom Personal der MA 2 entfernt wurde. Prozentuell größere Fraktionen stellen Metalle, Holz und Papier dar. Bei Betrachtung der Metallfraktion muss beachtet werden, dass die Probenahme der ersten Sortieranalyse nach einem Überbandmagneten stattgefunden hat, und sich somit eine gewisse Menge an Metallen der Sortierung entzogen hat.

Auf Grund der unbefriedigenden Tatsache, keine Kenntnisse darüber zu haben, wie viel Metall der vorgeschaltete Fe-Abscheider abscheidet, wurde die Probenahmestelle bei den beiden weiteren Sortieranalysen, vom 04. und 17.08.2016, auf das Förderband vor den Abscheider verlegt. Die Folge war quasi eine Verdopplung des prozentuellen Metallgehaltes der sortierten Fraktion, von 3,8 % am 17.05, auf 8,4 % bzw. 6,9 % am 04. und 17.08.

Außerdem wurde bei der zweiten und dritten Sortieranalyse die Gesamtmenge an Kunststoffen sortiert, wobei diese Fraktion nun von nur 2 % (nur Verpackungen) auf 15,9 %, bzw. 17,7 % (Gesamtmenge an Kunststoffen) gestiegen ist – siehe Tabelle 19 und Tabelle 20.

Die Fraktionen Holz und Papier stellen mit Mittelwerten von 8,7 % für Holz 6,8 % für Papier bei allen Sortieranalysen einen ähnlichen großen Anteil an der Gesamtmenge.

Der Anteil an Inertstoffen, wie Glas, Keramik, Steine steigt von 0,5 %, dem Schätzwert der ersten Sortierung, auf 5 % bzw. 3 % bei den anderen Sortierungen an. Die Separation dieser Fraktion wäre sinnvoll, da diese den Heizwert aller Produkte senkt. Eine Deponierung der Inertstoffe ist bei ausreichender Qualität (Grenzwert von 5 % TOC) möglich, womit Kosten gegenüber einer teureren Verbrennung gespart werden könnten.

Wird von der Repräsentativität der Sortieranalysen ausgegangen, sind in Tabelle 22 und Abbildung 57 die Mengenströme der Fraktionen bezogen auf die Gesamtmasse des Jahres 2015 aufgelistet. Daraus ist schnell zu erkennen, dass in dieser Abfallfraktion ein enormes Potential an Wertstoffen enthalten ist. Obwohl, wie bereits erwähnt, nur für Sekundärmetalle ein Markt besteht, könnten die übrigen Fraktionen sehr viel günstiger oder sogar um den fiktiven Einen Euro abgegeben werden. Hieraus würde sich eine große Gewinnspanne zwischen Zuzahlung für die Verbrennung und Zuzahlung für anderweitige Nutzung ergeben. Diese anderweitige Nutzung wäre im besten Fall eine teilweise stoffliche Wiederverwertung z.B. als Altholz für die Spanplatten-Produktion, als Altkunststoffe oder Altpapier für die Kartonherstellung.

Input Potential Gewerbeabfall, Bilanz 2015

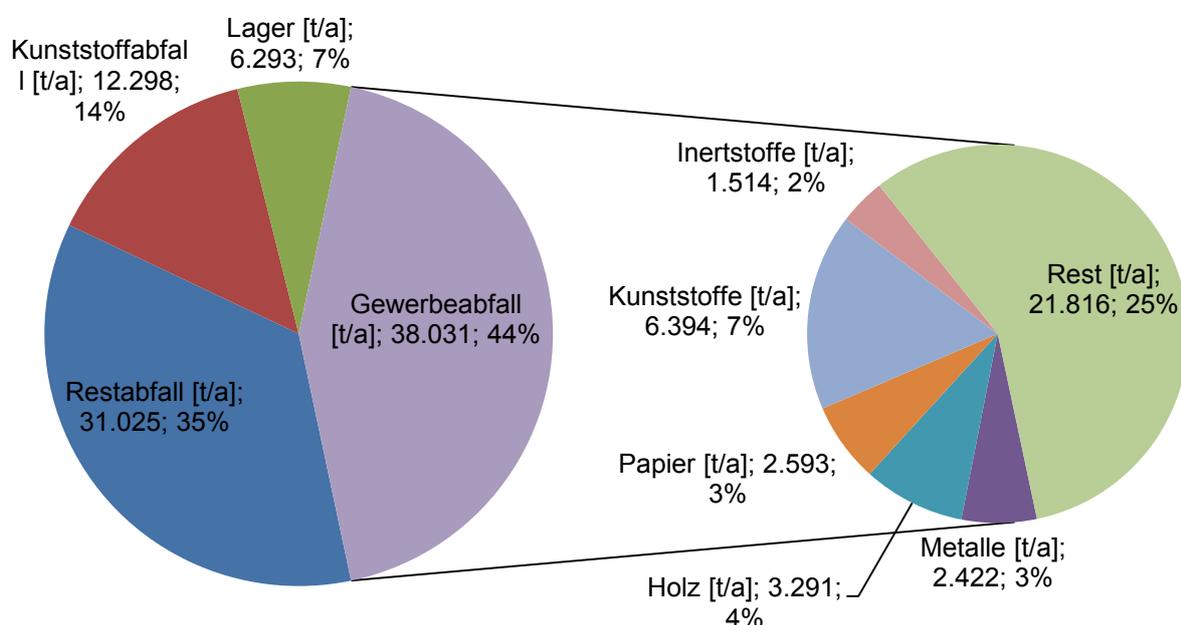


Abbildung 57: Potential der Gewerbeabfall Input-Fraktion auf Basis Bilanz 2015 und Sortieranalysen

Input Potential Restabfall, Bilanz 2015

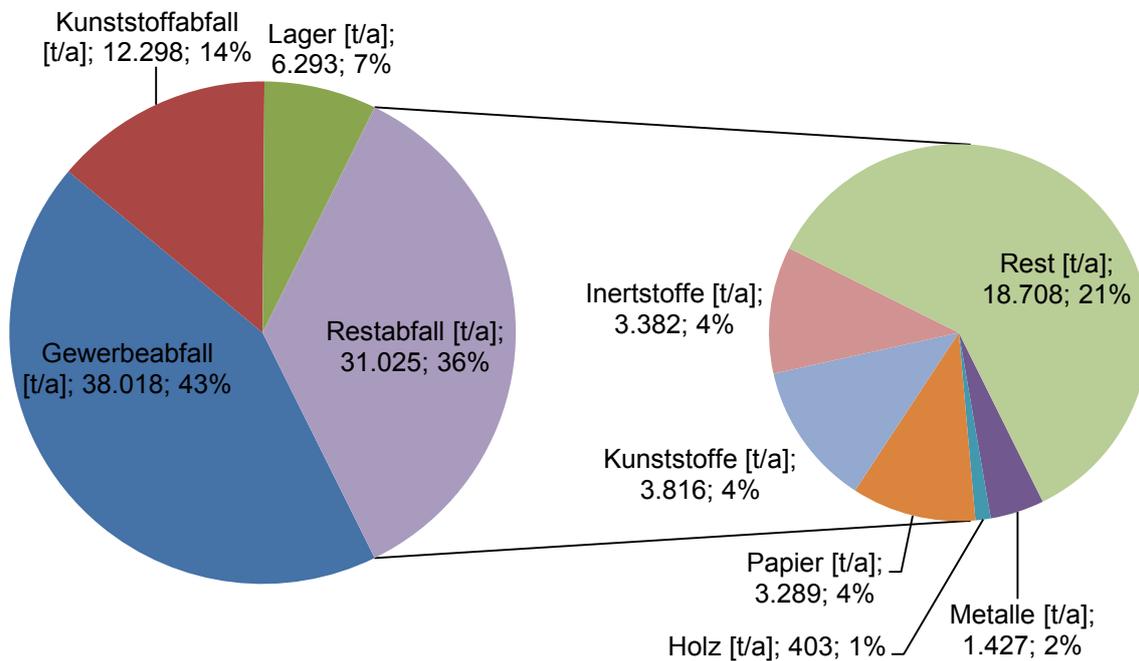


Abbildung 58: Potential der Restabfall Input-Fraktion auf Basis Bilanz 2015 und dem Endbericht „Sortieranalysen für Restabfall aus der Steiermark“ [3.2]

Wie Abbildung 57 und Abbildung 58 zeigen, befindet sich in den Gewerbeabfällen ein theoretischer Wertstoffanteil von 19 % im Gegensatz zu Restabfällen mit nur 15 % Wertstoffanteil.

5.4 Sortieranalysen-Output

Auf der anderen Seite, der Outputseite des Prozesses wurde erneut sortiert. Die Sortierung der Produkte Mainburner, Kalzinator sowie Siebdurchgang bringt wichtige Erkenntnisse mit sich, wie viel Wertstoffe endgültig den Flammen zum Opfer fallen. Die Ergebnisse waren ernüchternd, da in der Mainburner-Fraktion aus gemischtem Abfall (Volumenverhältnis Restabfall : Gewerbeabfall = 1:2) ein Metallmittelwert von 0,72 % gefunden wurde und im Siebdurchgang 30 mm sogar 5 % Metalle aufzufinden waren. In den Jahresabfallmengen ergeben sich daher erhebliche Mengen an Wertstoffen. So kommen insgesamt etwa 2.450 Tonnen Metalle, knappe 5.000 Tonnen Altholz und rund 14.000 Tonnen Inertstoffe zusammen – siehe Tabelle 26. Insbesondere ist der Siebdurchgang zu betrachten. Hier reichern sich im Zuge des Aufbereitungsprozesses Metalle, Holz und Inertstoffe an (5,03 %; 10,76 %; 33,71 %). Zusätzlich ist diese Fraktion, bei der es sich um Wirbelschichtmaterial handelt, die mengenmäßig größte und gleichzeitig minderwertigste Verbrennungsfraktion, für die die höchsten Abgabebeträge zu zahlen sind. Die Höhe der Zuzahlungen für eine Verwertung, inklusive Transport und Altlastensanierungsbeitrag (ALSAG) betragen für Wirbelschichtmaterial etwa 78 €/t, für Kalzinator-Material etwa 66 €/t und für Mainburner-Material zwischen 21 €/t und 53 €/t. Der hohe Preis der Wirbelschicht-Fraktion liegt am vergleichsweise geringen Heizwert, was bei einem hohen meist feuchten Feinanteil, einem hohen Anteil an nichtbrennbaren Materialien (~ 38 %) nicht unerwartet ist. Eine Abtrennung der Inertstoffe aus dieser Fraktion wäre von Vorteil, da auf der einen Seite die Verbrennungsanlagen nicht mit diesem Material beaufschlagt werden würden, und auf der andere Seite die Kosten der Verbrennung verringert werden könnten, indem das inerte Material deponiert werden könnte. Es gibt also vor allem bei den Siebdurchgängen Potential um dieser Fraktion die Wertstoffe zu entziehen und gleichzeitig die Menge zu reduzieren. Es ist daher folgend die Output Situation auf Basis der Bilanz der letzten drei Jahre mit einem Wertstoff Gewinn von lediglich 5 %, dem Output Potential des Siebdurchganges gegenübergestellt – siehe Abbildung 59 und Abbildung 60.

Output Situation, Bilanz 2013-2015

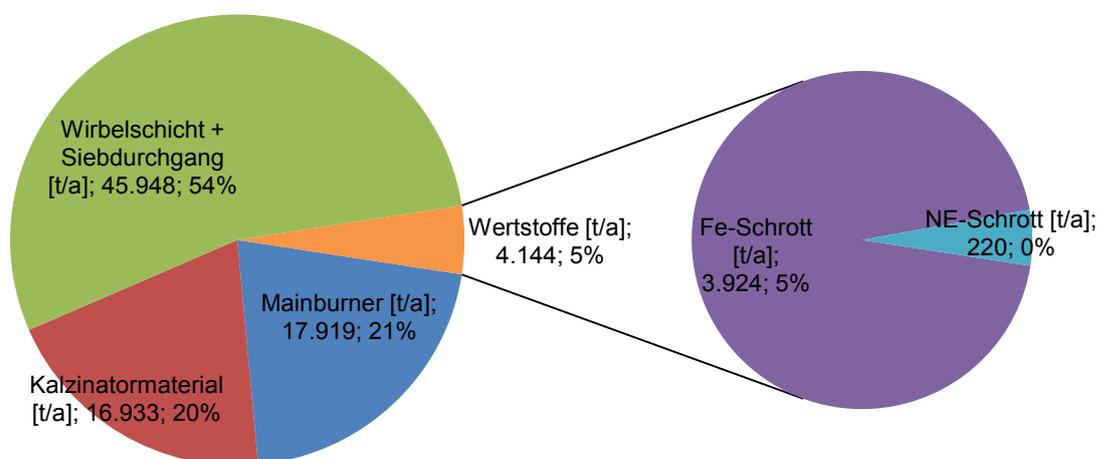


Abbildung 59: Bisherige Wertstoffausbeute auf Basis der Bilanzen 2013-2015

Output Potential Siebdurchgang, Bilanz 2013-2015

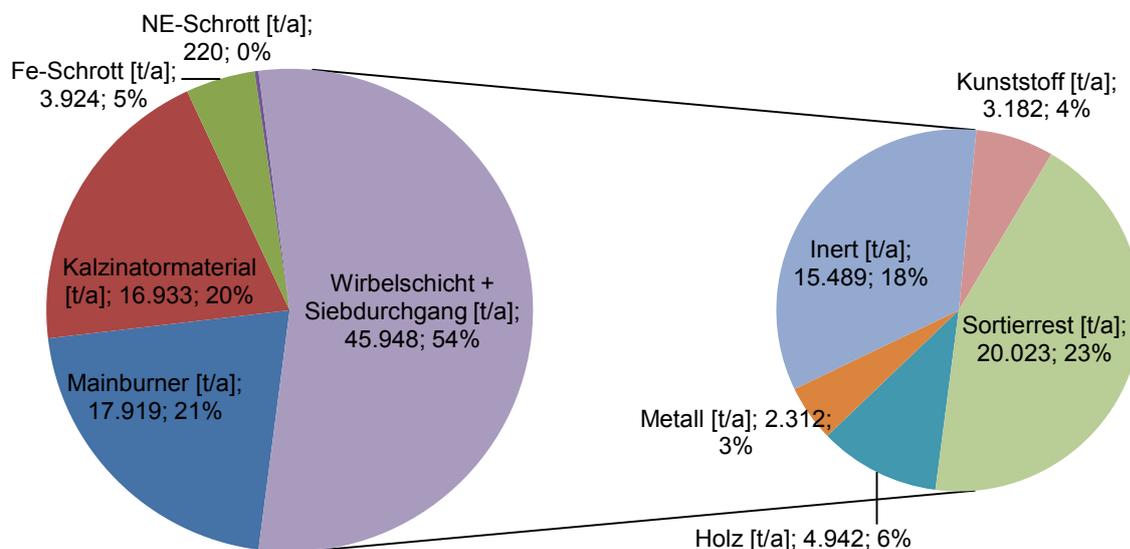


Abbildung 60: Wertstoffpotential der Wirbelschicht/ Siebdurchgangs-Fraktion auf Basis der Bilanzen 2013-2015.

Trotz derzeitiger Ausschleusung von rund 6 % Metallen aus dem gesamten Abfallstrom (Abbildung 59) reichern sich laut Sortieranalyse des Siebdurchganges die Wertstoffe in der feinen Fraktion, mit 31 % Gesamtanteil, an (Abbildung 60).

Bei einer theoretischen Abscheidung der Fraktionen, wie in Abbildung 60 dargestellt, könnte die Wirbelschicht/ Siebdurchgangs-Fraktion de facto halbiert werden. Die Fraktionen Holz (6 %) und Metall (8 %) würden stofflich wiederverwertet werden, die Fraktion Inert (18 %) deponiert und die Fraktion Kunststoffe (4 %) der Mainburner-Fraktion zugerechnet werden. Eine stoffliche Verwertung der Kunststoffe erscheint aus heutiger Sicht nicht realistisch, da kaum ein Markt vorhanden ist und die Kunststoff Qualität durch starke Verschmutzung schlecht ist.

5.5 Verschleißtests am Komptech Terminator

5.5.1 Auswertung Maschinendaten (Massendurchsatz, Stromaufnahme, Volumendurchsatz)

Auf Grund der Einbindung des Terminators in einen komplexen Aufbereitungsprozess und einem Materialstromengpass bei einer anderen Anlage (Feinzerkleinerer, Anlage 44 und 45 lt. Abbildung 9), konnte mit dem Maschinendurchsatz nicht der Maximaldurchsatz der Anlage erreicht werden. Um den maximalen (theoretischen) Durchsatz bestimmen zu können, mussten die Betriebszustände (Zerkleinerung, Leerlauf, Stillstand, Reversieren) ausgewertet werden. Die Arbeitszeit ist jene Zeit, in der das Zerkleinerungsaggregat einen Stromverbrauch > 26 kW hatte – siehe Abbildung 61, Abbildung 62. Wie aus Tabelle 27 ersichtlich, steigt der Durchsatz bei neuen Werkzeugen bei Restabfall erheblich an (> 45 t/h). Bei Gewerbeabfall kann dieser Trend nicht nachgewiesen werden, es ist jedoch zu erkennen, dass der Durchsatz bei verschlissenem Werkzeug mit nur 11,1 t/h deutlich am geringsten ist.

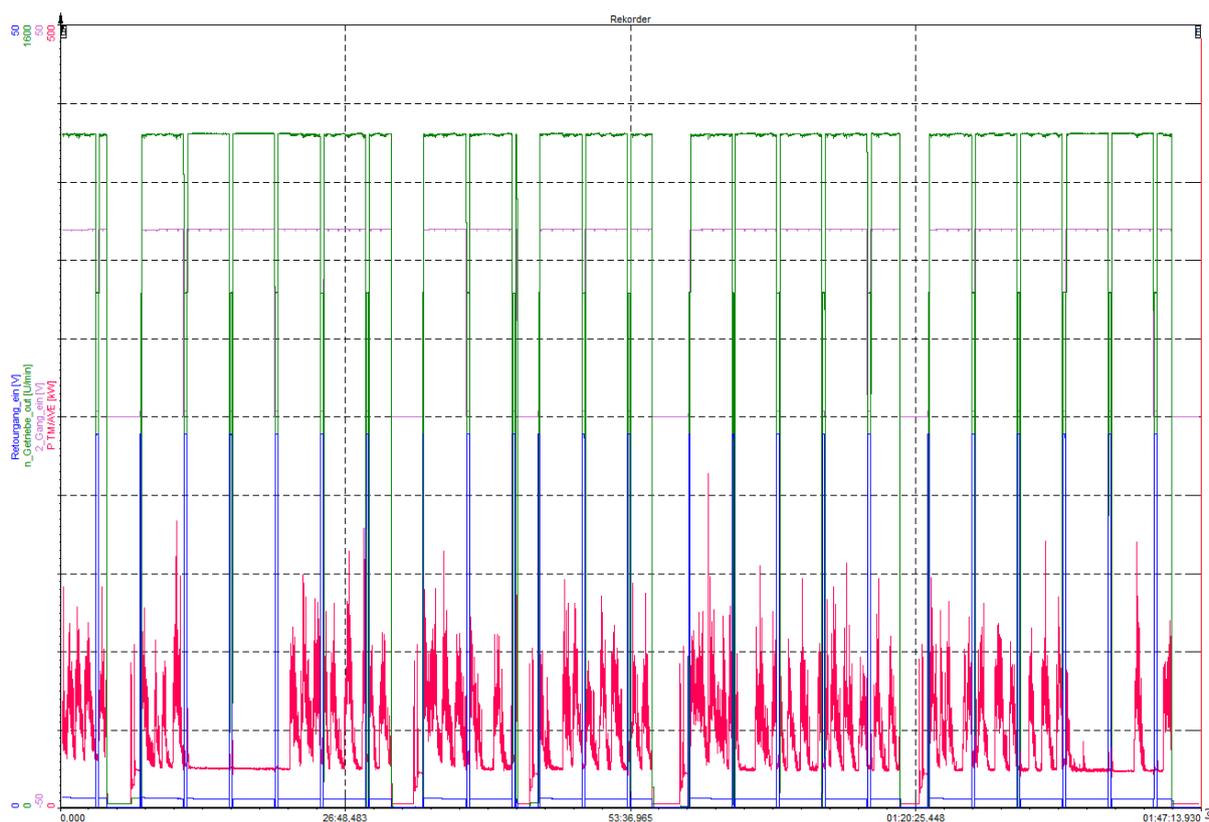


Abbildung 61: Darstellung der Stromaufnahme [kW] (rot), Getriebedrehzahl [U/min] (grün), Retougang (blau) und 2. Gang (violett) für gesamten Versuchszeitraum Restabfall am 20.07, bei verschlissenem Werkzeug.

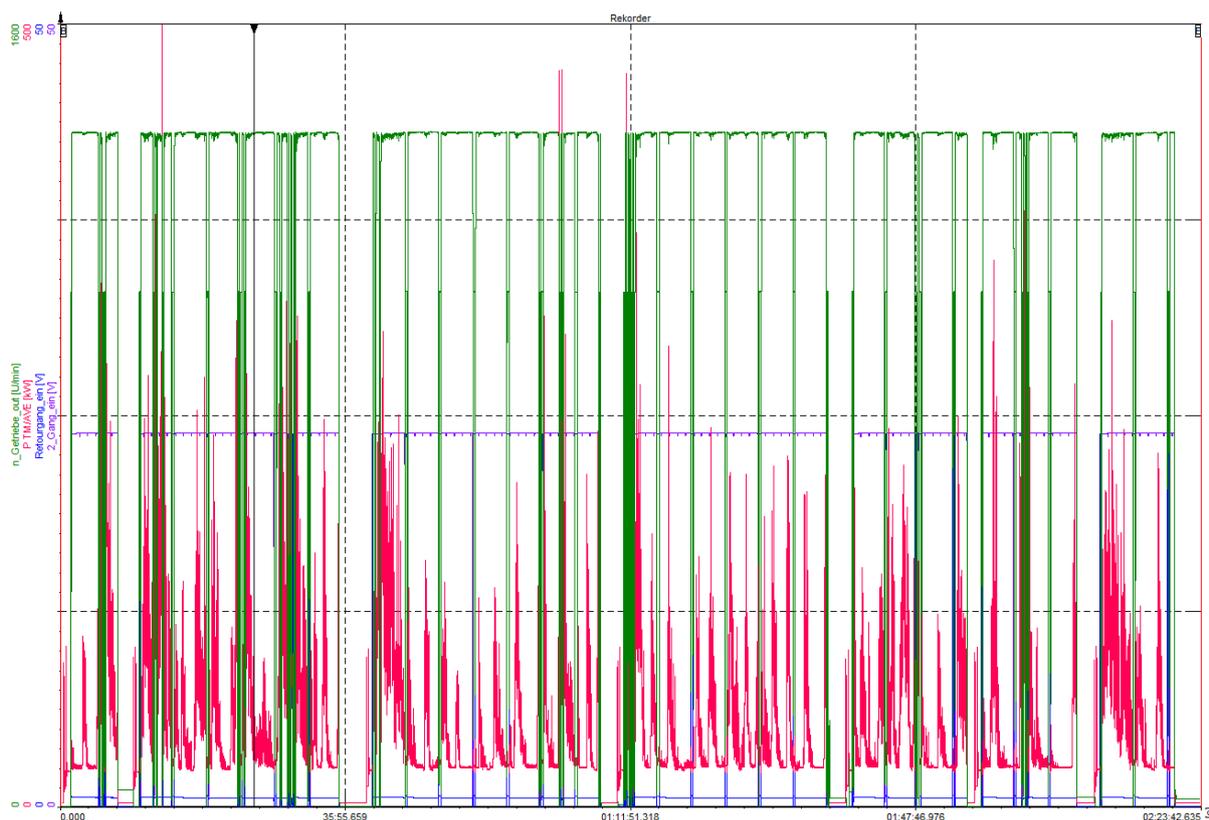


Abbildung 62: Darstellung der Stromaufnahme [kW] (rot), Getriebedrehzahl [U/min] (grün), Retougang (blau) und 2. Gang (violett) für gesamten Versuchszeitraum Gewerbeabfall am 20.07, bei verschlissenem Werkzeug.

Der deutlich geringere Durchsatz bei den Gewerbeabfällen ist auf die häufigeren Blockaden zurückzuführen, welche wiederum auf Inhomogenität und hohen Störstoffanteil schließen lässt – siehe Abbildung 61 und Abbildung 62, welche den Unterschied zwischen einer Rest- und einer Gewerbeabfallzerkleinerung zeigen.

Um eine verhältnismäßige Aussage über die Energieaufnahme des Terminators zu erlangen, wurde die im Versuchszeitraum aufgenommene Energie [kWh] mit dem Massendurchsatz [t] dividiert, um die Einheit Energiebedarf pro Tonne [kWh/t] zu erlangen. Der geringere Energiebedarf bei Restabfällen und verschlissenen Werkzeugen lässt sich auf die geringere Zerkleinerungsrate – siehe Siebkurve Restabfall (Abbildung 54) zurückführen. Bei Gewerbeabfällen ist der spezifische Energiebedarf bei gemischten Werkzeugen am geringsten. Bei neuem Werkzeugzustand höher, zurückzuführen auf vermehrte Blockaden, und bei verschlissenem Werkzeugzustand am höchsten. Der Grund dafür liegt in der gleichbleibenden Korngrößenverteilung, es benötigen verschlissene Werkzeuge mehr Energie um das Material zu zerkleinern, weshalb ein herausragend hoher Energiebedarf pro Tonne zum Zerkleinern von Gewerbeabfällen mit verschlissenen Zähnen notwendig ist.

Aus dem Volumendurchsatz und dem Massendurchsatz kann die Dichte der Abfälle abgeschätzt werden. Bis auf eine Ausnahme, bei der Messung am 13.07, zeigt die berechnete Abfalldichte, dass Restabfall eine höhere Dichte aufweist.

5.5.2 Auswertung der Siebanalysen, Korngrößenverteilungen, Zerkleinerungsverhalten

Mit Hilfe von Abbildung 52 lässt sich erkennen, dass bei der Zerkleinerung von Restabfall und verschlissenen Werkzeugen (rote Linie) anteilmäßig die größeren Kornklassen (100-150 mm und > 150 mm) vorliegen, und bei allen Kornklassen darunter der geringste Anteil vorliegt (Ausnahme stellt die Korngrößenklasse 11-25 mm dar). Daraus ist zu schließen, dass neue Werkzeuge einen positiven Einfluss auf die Zerkleinerung der Restabfall-Fraktion haben.

Bei den Gewerbeabfällen (Abbildung 53) lässt sich dieser Trend nicht nachvollziehen, da der prozentuelle Anteil pro 1 mm Fraktion bei allen Korngrößen sehr ähnlich ist.

Bei der Darstellung der Gewichtsanteile (Abbildung 54) stimmen im Falle der Restabfälle die Kurven der gemischten und neuen Werkzeuge überein, bei verschlissenen Werkzeugen ist zu beobachten, dass der prozentuelle Anteil der Siebfraktion über die Korngrößenklassen 50-100 mm, 100-150 mm und >150 mm gleich bleibt. Bei verschlissenen Werkzeugen ist also eine deutliche Verschlechterung der Zerkleinerungsleistung zu erkennen.

Bei Betrachtung derselben Grafik für Gewerbeabfälle ist eben beschriebener Trend nicht zu beobachten. Die gleichmäßige Verteilung des Anteiles der Siebfraktionen an allen drei Versuchstagen bzw. bei allen Werkzeugzuständen zeigt, dass der Werkzeugzustand der Zerkleinerungsanlage keinen Einfluss auf die Korngrößenverteilung hat.

5.5.3 Auswertung des Zahnverschleißes

Wie sich im Zuge des Verschleißtestes herausstellte, werden von der Instandhaltungsabteilung der Anton Mayer GmbH keine verschlissenen Werkzeuge getauscht. Die Werkzeugzähne werden ausschließlich bei Verlust (runterbrechen des Zahnes vom Zahnhalter) getauscht. Diese Vorgehensweise beeinträchtigt die Zerkleinerungsleistung zwar nur bedingt, erhöht allerdings die Verschleißkosten und den Instandhaltungsaufwand erheblich. Demnach wurden keine verschlissenen Werkzeuge gefunden und es konnte keine Gewichtsdiﬀerenz zwischen neuen und verschlissenen Werkzeugen erstellt werden.

5.5.4 Resümee des Verschleißtests

Bei genauer Betrachtung und Gegenüberstellung der aufgenommenen Parameter lassen sich getrennt voneinander für Restabfall und Gewerbeabfall folgenden Beobachtungen festhalten und schlüssig argumentieren:

Restabfall:

- Auf Grund des höheren Durchsatzes und dem sehr geringen prozentuellen Anteil an Blockaden ist Restabfall leicht zerkleinerbar.
- Durchsatz und Korngrößenverteilung der zerkleinerten Fraktion sind abhängig vom Zustand der Werkzeuge.
- Leistungsbedarf pro Tonne erreicht bei gemischtem Werkzeugzustand ein Maximum, bei neuem Werkzeugzustand geringer, da schneidende Wirkung, bei verschlissenem Werkzeugzustand weniger Zerkleinerung und somit geringerer Energiebedarf.
- Anteil an Blockaden ist nicht abhängig vom Zustand der Werkzeuge.

→ neuer Zahnzustand maximiert den Durchsatz und minimiert den spezifischen Energieverbrauch, bei gleichbleibender Zerkleinerungsrate.

Gewerbeabfall:

- Auf Grund des geringeren Durchsatzes und dem vergleichsweise hohen prozentuellen Anteil an Blockaden ist Gewerbeabfall schwer zerkleinerbar.
- Durchsatz, Anteil an Blockaden und Leistungsbedarf der zerkleinerten Fraktion sind abhängig vom Zustand der Werkzeuge.
- Korngrößenverteilung hingegen ist nicht abhängig vom Zustand der Werkzeuge.

→ gemischter Zahnzustand vorteilhaft, da bei diesem Zustand der Durchsatz maximiert und der spezifische Energieverbrauch minimiert wird.

6 Verzeichnisse

6.1 Literatur

- [1] Komptech Homepage, Produkte Terminator Direct, Online im WWW unter URL: <https://www.komptech.com/de/produkte-komptech/pdetails/terminator-direct.html>. Stand: August 2016.
- [1.1] Abfall- und Stoffflusswirtschaft des Landes Steiermark. Online im WWW unter URL: <http://www.stiftung-mehrweg.de/oekologische-bewertung.php>. Stand: September 2016.
- [1.2] Initiative Mehrweg. Online im WWW unter URL: <http://www.abfallwirtschaft.steiermark.at/cms/beitrag/10168864/4877785>. Stand: September 2016.
- [2.1] K.E. Lorber, R. Sarc, R. Pomberger: „*Österreichische Erfahrungen zum Einsatz verschiedener Abfälle als Ersatzbrennstoffe (EBS) und mögliche Anwendungsprobleme.*“-Türkisch-Deutsche Abfalltage 2010-Ressourcenschutz durch Umsetzung nachhaltiger Abfallwirtschaft. 2010. S. 327-348.
- [2] BGBl. 1990/325: Bundesgesetz vom 6. Juli 1990 über die Vermeidung und Behandlung von Abfällen (Abfallwirtschaftsgesetz – AWG).
- [2.2] BMFLUW (2004): BGBl. II Nr. 389/2002 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 476/2010: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung-AVV).
- [2.3] Pomberger, R. (2007): „*Ersatzbrennstoffe aus Siedlungsabfällen-Anforderungen, Möglichkeiten, Betriebserfahrungen.*“ Vortragsmanuskript zur ÖWAV / UBA-Tagung in Wien, 2007.
- [2.4] Prof. Dr.-Ing. Martin Bonnet, Jona Lisa Viertel (2007): „*Herstellung und Verwertung von Ersatzbrennstoffen unter besonderer Berücksichtigung des Werkstoffes PVC.*“ Institut für Werkstoffanwendungen, Fachhochschule Köln.
- [2.5] Pomberger, R. (2008): Entwicklung von Ersatzbrennstoff für das HOTDISC-Verfahren und Analyse der abfallwirtschaftlichen Relevanz. Dissertationsarbeit (PhD-Thesis) am IAE-Institut der Montanuniversität Leoben.
- [2.6] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): The Cement Sustainability Initiative. Cement Industry Energy and CO₂ Performance – Getting the Numbers right. Online im WWW unter URL: <http://www.wbcscement.org/index.php/key-issues/climate-protection/global-cement-database>, Stand 2010

- [2.7] Amt der Steiermärkischen Landesregierung Fachabteilung 19D-Abfall- und Stoffflusswirtschaft, „Landesabfallwirtschaftsplan Steiermark 2010“.
- [2.8] Kunter, A & Wellacher, M. (2010): Neue Entwicklungen bei der Ersatzbrennstoffaufbereitung. In: K. E. Lorber et al. (Hrsg.): DepoTech 2010 Tagungsband, S. 653-656., ISBN: 978-3-200-02018-4.
- [3.2] ARGE Ingenieurgesellschaft Innovative Umwelttechnik GmbH und Saubermacher Dienstleistungen AG (2014): „Sortieranalysen für Restmüll aus der Steiermark – Endbericht“.

6.2 Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
abh.	abhängig
etc.	et cetera
v.a.	vor allem
z.Z.	zur Zeit
KG	Korngröße
EBS	Ersatzbrennstoff
SP	Stichprobe
Bzw.	Beziehungsweise
SD	Siebdurchgang
Mg	Mega Gramm = Tonnen
t	Tonnen

6.3 Tabellen

Tabelle 1: Klassifizierung von Ersatzbrennstoffen [2.8].....	9
Tabelle 2: Auflistung aller in MA 2 Verwendung findenden Maschinen I	15
Tabelle 3: Auflistung aller in MA 2 Verwendung findenden Maschinen II	16
Tabelle 4: Auszug Nutzungsanalyse 2013, prozentueller ungeplanter Stillstand	22
Tabelle 5: Auszug Nutzungsanalyse 2014, prozentueller ungeplanter Stillstand	23
Tabelle 6: Auszug Nutzungsanalyse 2015, prozentueller ungeplanter Stillstand	23
Tabelle 7: Materialmengen der Vorprobenahme	24
Tabelle 8: Jahresabfallbilanz 2013, 2014, 2015.....	33
Tabelle 9: Dichte der Abfallströme.....	46
Tabelle 10: Bestimmung des Wassergehaltes der Fraktionen der Vorprobenahme.....	46
Tabelle 11: Siebung 60-100 mm.....	47

Tabelle 12: Siebung 30-60 mm.....	47
Tabelle 13: Siebung Mainburner (< 30 mm)	47
Tabelle 14: Siebversuch Aufbereitungslabor	48
Tabelle 15: Bestimmung des Wassergehaltes der Produkte Mainburner (MB) und Kalzinator (Kal) aus Gewerbeabfall.....	48
Tabelle 16: Siebanalyse von fünf unabhängigen Mainburner-Proben	49
Tabelle 17: Laboranalysewerte zu Aschegehalt und Heizwert.....	49
Tabelle 18: Sortieranalyse Gewerbeabfälle 17.05.2016.....	51
Tabelle 19: Sortieranalyse Gewerbeabfälle 04.08.2016.....	53
Tabelle 20: Sortieranalyse Gewerbeabfälle 17.08.2016.....	53
Tabelle 21: Mittelwerte der sortierten Fraktionen	54
Tabelle 22: Jahresmassenbilanz mit hochgerechneten Werten für alle Wertstoffe entsprechend der Mittelwerte der Gewerbeabfall-Sortieranalysen.....	54
Tabelle 23: Sortieranalyse der Materialien Mainburner (MB), Kalzinator und Siebdurchgang (SD) 60 mm; Probenahme am 17.05.2016	55
Tabelle 24: Sortieranalyse Mainburner (MB) und Kalzinator von Gewerbeabfall , Probenahme am 20.07.2016	55
Tabelle 25: Sortieranalyse von Siebdurchgang 30 mm, Probenahme am 17.08.2016	56
Tabelle 26: Hochrechnung der Wertstoffverluste auf Basis der Sortieranalysen	58
Tabelle 27: Datenauswertung Terminator Test.....	60
Tabelle 28: Siebanalyse Restabfall, verschlissener Zahnzustand.....	63
Tabelle 29: Siebanalyse Gewerbeabfall, verschlissener Zahnzustand.....	63
Tabelle 30: Siebanalyse Restabfall, gemischter Zahnzustand	64
Tabelle 31: Siebanalyse Gewerbeabfall, gemischter Zahnzustand	64
Tabelle 32: Siebanalyse Restabfall, neuwertiger Zahnzustand.....	65
Tabelle 33: Siebanalyse Gewerbeabfall, neuwertiger Zahnzustand.....	65

6.4 Abbildungen

Abbildung 1: Europäische fünfstufige Abfallhierarchie [1.2]	3
Abbildung 2: Mechanisch-biologische Anlagen in der Steiermark (Stand 2009) [2.7].....	6
Abbildung 3: Restmüllsplittanlagen für gemischte Siedlungsabfälle in der Steiermark (Stand 2009) [2.7]	6
Abbildung 4: Das österreichische "Restmüll-Splitting" Konzept [2.1].....	7

Abbildung 5: Substitutionsrate von Ersatzbrennstoffen in der Zementindustrie für ausgewählte Länder, EU 27 und weltweit für den Zeitraum 1990-2010. [2.6]	9
Abbildung 6: Einsatzgebiete unterschiedlicher EBS Sorten in Abhängigkeit von Heizwert und Korngröße [2.3]	10
Abbildung 7: wirtschaftliche Betrachtung eines Abfallaufbereiters / EBS Herstellers	13
Abbildung 8: Wirtschaftliche Betrachtung einer primären Rohstoffaufbereitung	13
Abbildung 9: schematische Darstellung MA 2.....	19
Abbildung 10: P&I, MA 2 mit In- und Outputbunkern	21
Abbildung 11: Teilung der Siebtürme für Probe 60-100 mm	25
Abbildung 12: Siebturm I	26
Abbildung 13: Restabfallfraktion > 112 mm nach dem Siebvorgang	26
Abbildung 14: PVC Tracer (Rohre, Paletten, eingefärbte Kanister)	29
Abbildung 15: Kunststofffolien nach dem Vorzerkleinerer.....	29
Abbildung 16: Restabfallzusammensetzung in Massen-% lt. Endbericht „Sortieranalysen für Restabfall aus der Steiermark“ [3.2]	32
Abbildung 17: grafische Darstellung der Abfallströme für das Jahr 2015	34
Abbildung 18: stationärer, mechanisch direkt angetriebener Terminator 5000 S E Direct [1]	35
Abbildung 19: neuwertiger Walzenzahn	38
Abbildung 20: stark verschlissener Walzenzahn.....	38
Abbildung 21: stark verschlissener Gegenkammzahn	38
Abbildung 22: neuwertiger Gegenkammzahn	38
Abbildung 23: optische Messung des Volumenstromes.....	39
Abbildung 24: Schema 1a, Duoballistor ohne Splitter	41
Abbildung 25: Schema 1b, Monoballistor ohne Splitter.....	42
Abbildung 26: Schema 2a, Duoballistor mit Splitter	42
Abbildung 27: Schema 2b, Monoballistor mit Splitter	43
Abbildung 28: Ballistischer Separator der Komptech GmbH [1]	44
Abbildung 29: Paddel mit Siebplatten eines Ballistors der Komptech GmbH [1]	44
Abbildung 30: Schematische Funktionsweise eines Ballistikseparators.....	44
Abbildung 31: Versuchsaufbau.....	45
Abbildung 32: Wiederfindungsrate des Tracers (Aluminiumdosen) bei Betrieb.....	50
Abbildung 33: Nichteisen-Fraktion nach Feinzerkleinerer	50

Abbildung 34: Nichteisen-Fraktion des Tracers im Produktstrom.....	50
Abbildung 35: Sortierung der Fraktionen v.l.n.r. Kunststoff-Verpackungen (KS), Restfraktion, Papier, Holz und Metalle	52
Abbildung 36: KS-Verpackungen erste Sort.	52
Abbildung 37: Papier erste Sortierung	52
Abbildung 38: Holz erste Sortierung	52
Abbildung 39: Metalle erste Sortierung.....	52
Abbildung 40: Wert- und Reststoffe in Gewerbeabfall	54
Abbildung 41: grafische Darstellung der Sortieranalyse des Siebdurchganges 30 mm.....	56
Abbildung 42: Metalle Siebdurchgang 30 mm	57
Abbildung 43: Holz Siebdurchgang 30 mm.....	57
Abbildung 44: Kunststoffe Siebdurchgang 30 mm	57
Abbildung 45: Inertstoffe Siebdurchgang 30 mm	57
Abbildung 46: Wertstoffinhalt des Siebdurchganges lt. Sortieranalysen bezogen auf das Jahr 2015.....	58
Abbildung 47: spezifische Energieaufnahme pro Tonne Material [kWh/t]	61
Abbildung 48: Durchsatz [t/h].....	61
Abbildung 49: prozentueller Anteil der Blockaden bezogen auf die Zerkleinerungszeit.....	62
Abbildung 50: Mittelwerte der Restabfallsiebung, aller Zahnzustände	66
Abbildung 51: Mittelwerte der Gewerbeabfallsiebung, aller Zahnzustände	66
Abbildung 52: Auswertung der Mittelwerte der Restabfallsortierungen	68
Abbildung 53: Auswertung der Mittelwerte der Gewerbeabfallsortierungen	69
Abbildung 54: Darstellung des Rückstandes, sowie des Gewichtsanteils gegen die Korngrößen für die Mittelwerte des Restabfalls	71
Abbildung 55: Darstellung des Rückstandes, sowie des Gewichtsanteils gegen die Korngrößen für die Mittelwerte des Gewerbeabfalles	72
Abbildung 56: Sortierte Metall-Fraktion aus Mainburner	75
Abbildung 57: Potential der Gewerbeabfall Input-Fraktion auf Basis Bilanz 2015 und Sortieranalysen	77
Abbildung 58: Potential der Restabfall Input-Fraktion auf Basis Bilanz 2015 und dem Endbericht „Sortieranalysen für Restabfall aus der Steiermark“ [3.2].....	78
Abbildung 59: Bisherige Wertstoffausbeute auf Basis der Bilanzen 2013-2015.....	79

Abbildung 60: Wertstoffpotential der Wirbelschicht/ Siebdurchgangs-Fraktion auf Basis der Bilanzen 2013-2015.	80
Abbildung 61: Darstellung der Stromaufnahme [kW] (rot), Getriebedrehzahl [U/min] (grün), Retougang (blau) und 2. Gang (violett) für gesamten Versuchszeitraum Restabfall am 20.07, bei verschlissenem Werkzeug.	81
Abbildung 62: Darstellung der Stromaufnahme [kW] (rot), Getriebedrehzahl [U/min] (grün), Retougang (blau) und 2. Gang (violett) für gesamten Versuchszeitraum Gewerbeabfall am 20.07, bei verschlissenem Werkzeug.	82

Anhang

PROJEKT MAYREC

Beschreibung der Abfallfraktionen

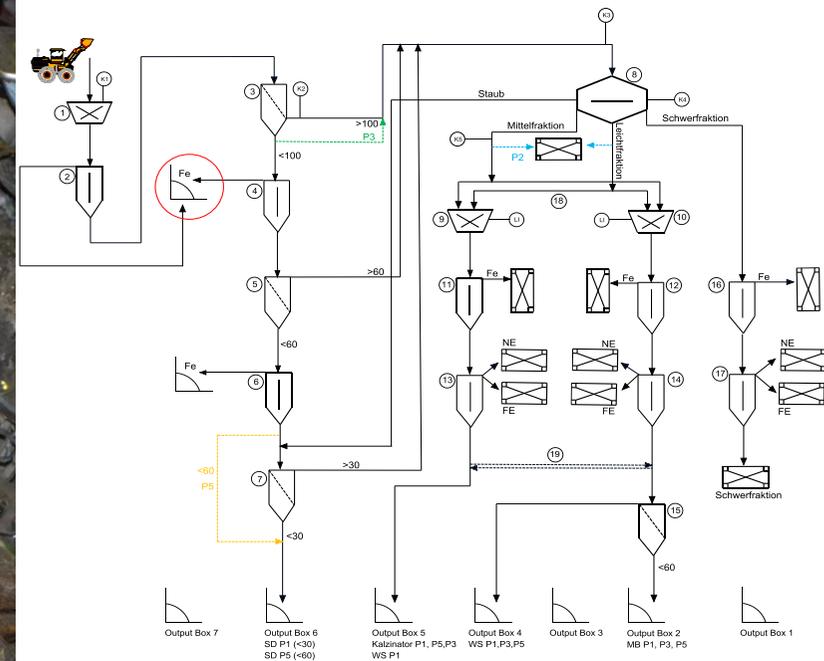
Fraktionen des Eisen- und
Nichteisenabscheiders

Lisa Krois

10.06.2016

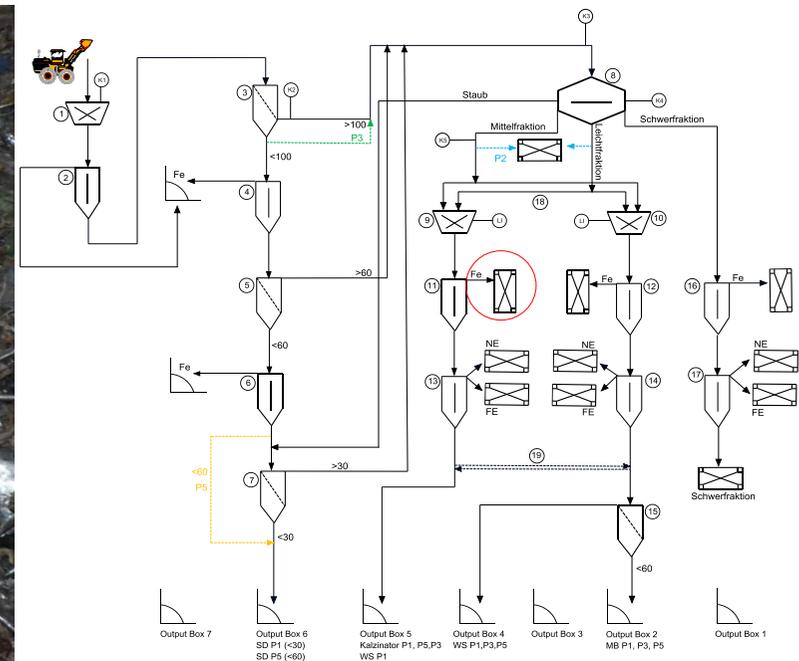
2,4 FE-FE Abscheider:

Auf den ersten Blick handelt es sich hauptsächlich um: Metallprofile, Armaturen, dicke Drähte, Besteck, Maschinenteile, Dosendeckel, Spraydosen, Korken mit Eisenverschluss, Rohre, Werkzeuge,... Alle Größen sind vertreten, da noch keine Siebung bzw. nur eine $<100\text{mm}$ Siebung stattgefunden hat.



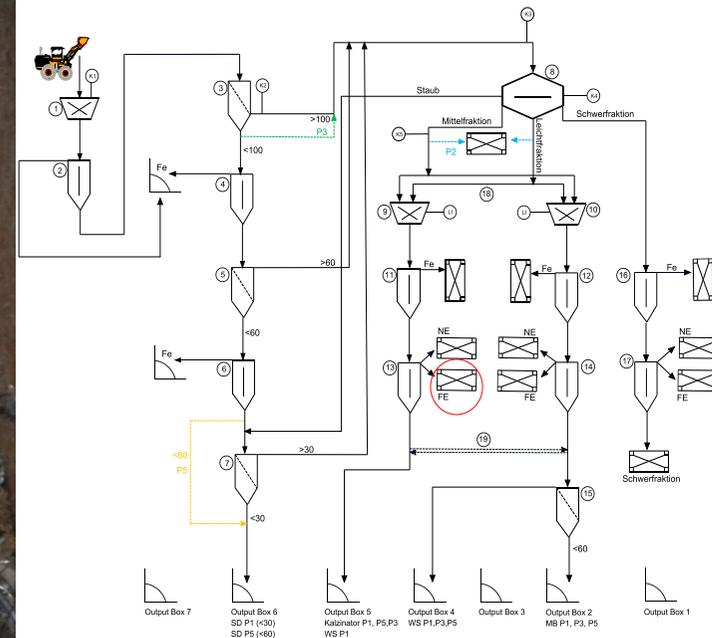
11 FE-FE Kalzinator:

Auf den ersten Blick sind vorwiegend Blättchen und Drähte (dünne als auch massive) enthalten. Die Länge der meisten Drähte war 25-30cm, der längste Draht hatte eine Länge von 37cm. Ebenfalls in dieser Fraktion enthalten sind Eisenstücke bis ca. 12 cm Länge und einer Dicke von 0,5cm. Auch wurde ein ganzes Messer in der Fraktion vorgefunden. Der Störstoffgehalt in dieser Fraktion ist sehr gering einzustufen, es befinden sich kaum Fremdstoffe darin.



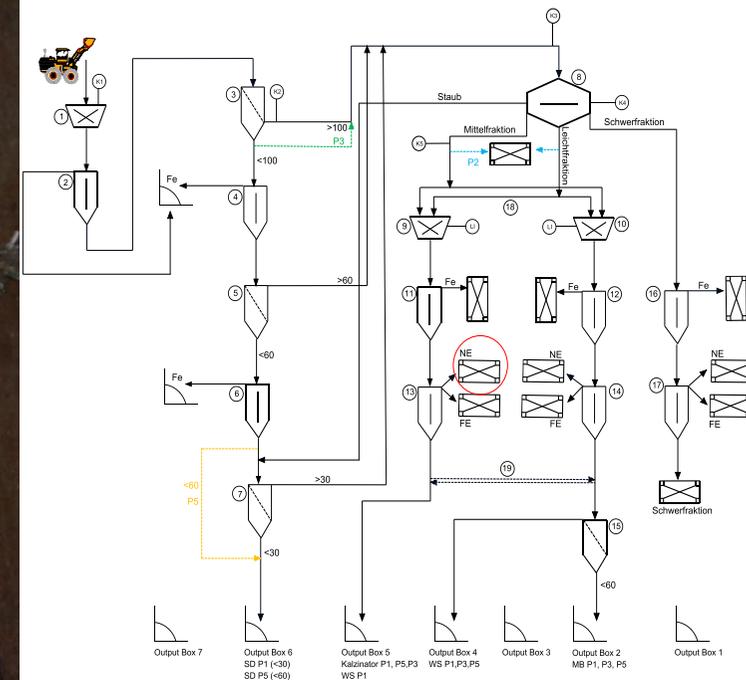
13 FE-NE Kalzinator (Eisenfraktion des Nichteisen-Abscheiders):

Hauptsächlich dünne Drähte (bis 30cm Länge), Nichtmetall Plättchen, Dosenöffner-Bügel. Fraktion weist eine hohe Staubbelastung auf, vereinzelt auch kleinere Kunststofffetzen.



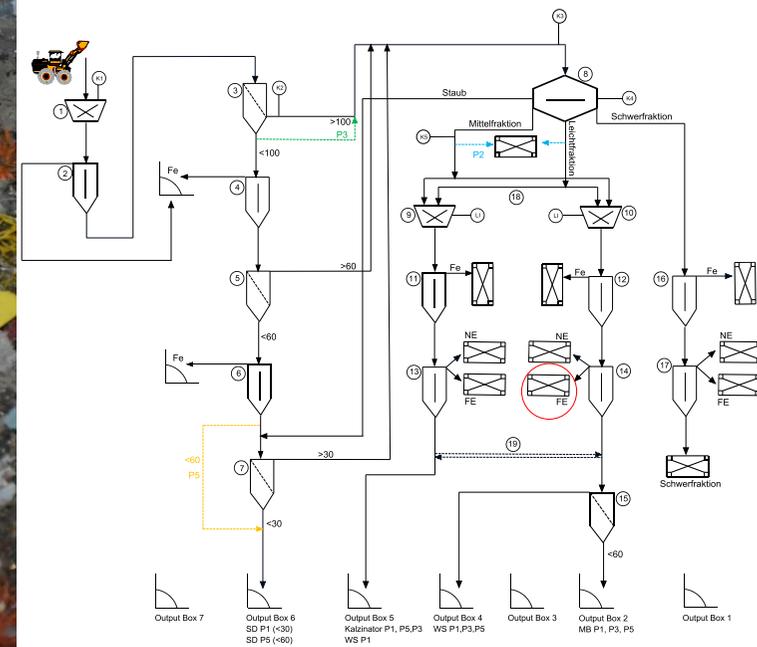
13 NE-NE Kalzinator (Nichteisenfraktion des Nichteisen-Abscheiders):

Vor allem Getränkedosenteilchen und kleine dünne Nichteisen Plättchen (bis 4 cm Durchmesser), starke Staubbelastung, vereinzelt Kunststoffteile (bis 5cm Durchmesser). Ebenfalls wurde ein großes Eisenrohr (Länge von 15 cm) in der Fraktion vorgefunden.



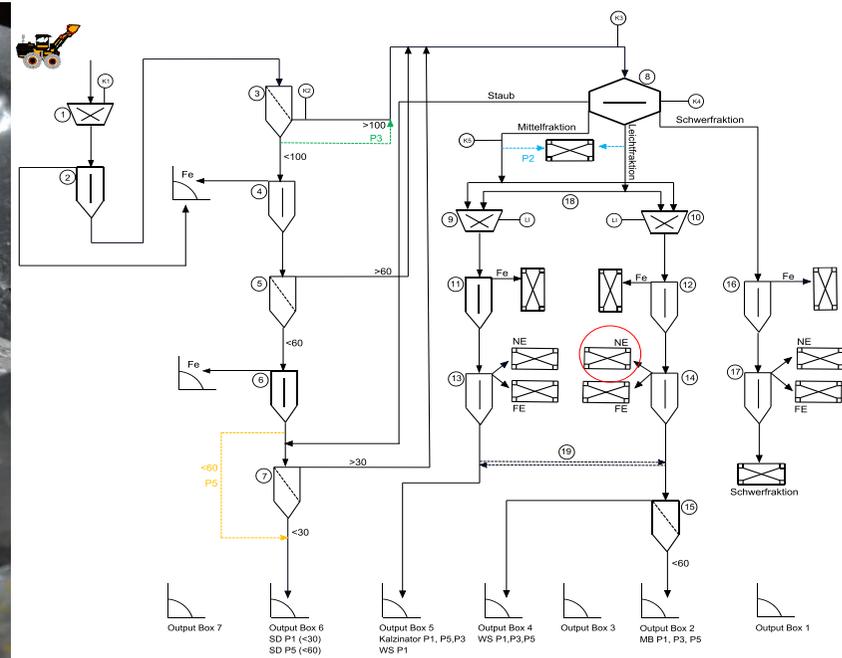
14 FE-NE MB:

Vorwiegend dünne Drähte (bis 30cm Länge) hoher Störstoffanteil in Form von Kunststoffen (Reste von Folien als Knäuel) höherer Störstoffanteil als in der Fraktion FE-NE Kalzinator.



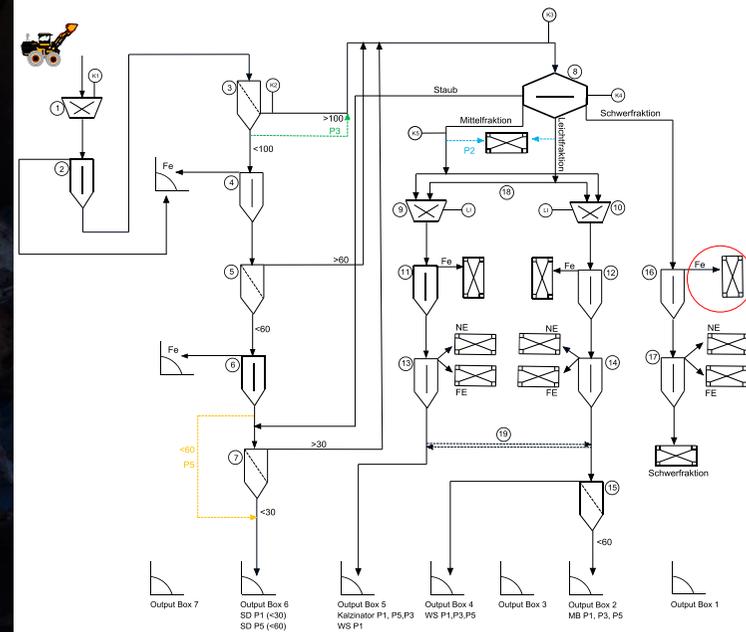
14 NE-NE MB:

Dosen-Stücke (bis 6cm Länge), dünne Eisenplättchen (bis 10cm Länge), schwach staubbelastet.



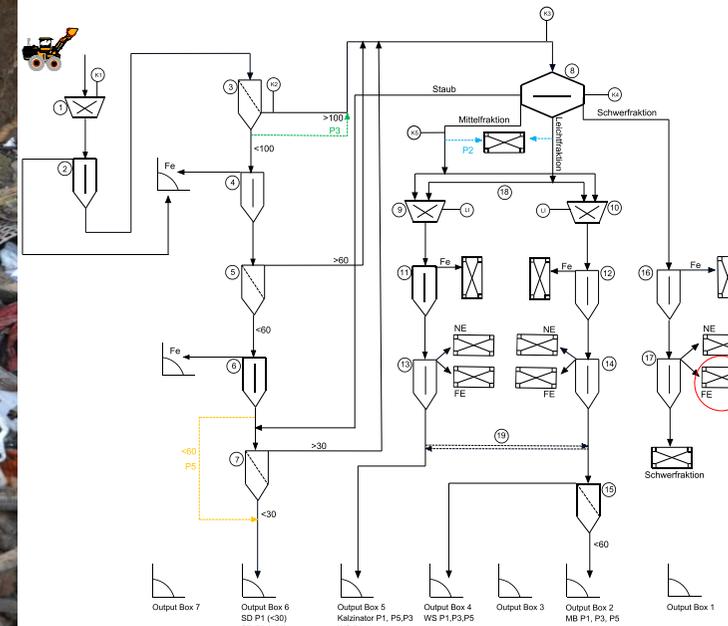
16 FE-FE Rost:

Massive Eisenteile, gebogene Eisenrohre (manche bis 40cm Länge), ganze Pfannen, Störstoffreich: Autoreifen, Schuhe, Plastikfolien,...



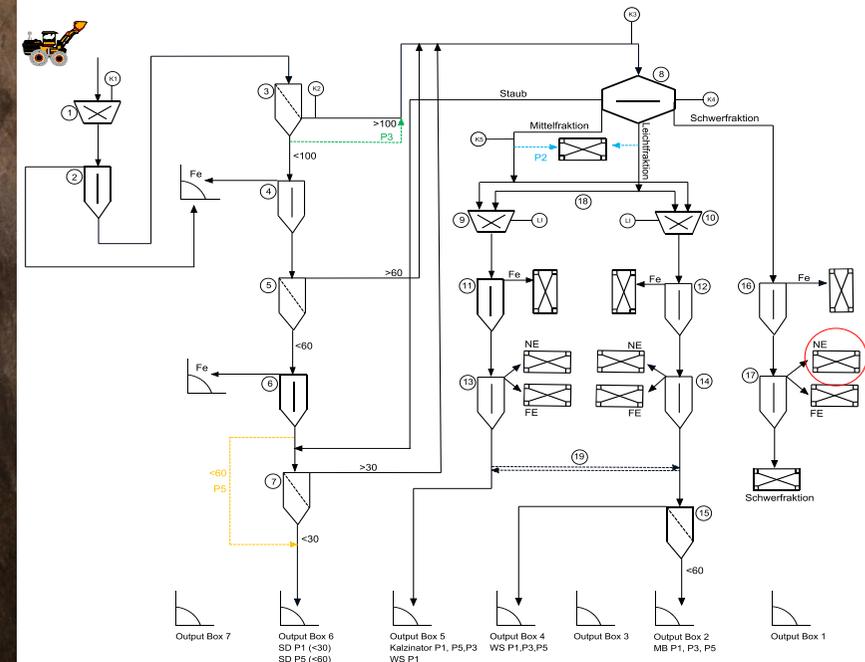
17 FE-NE Schwerfraktion:

Elektroabfall: Steckdosen, Akkus, Ladekabel, Kassetten, Schraubenzieher, Spraydosen, vereinzelt Holzstücke, Eisenschlauch, Pinsel, Folienteile, Feuerzeug



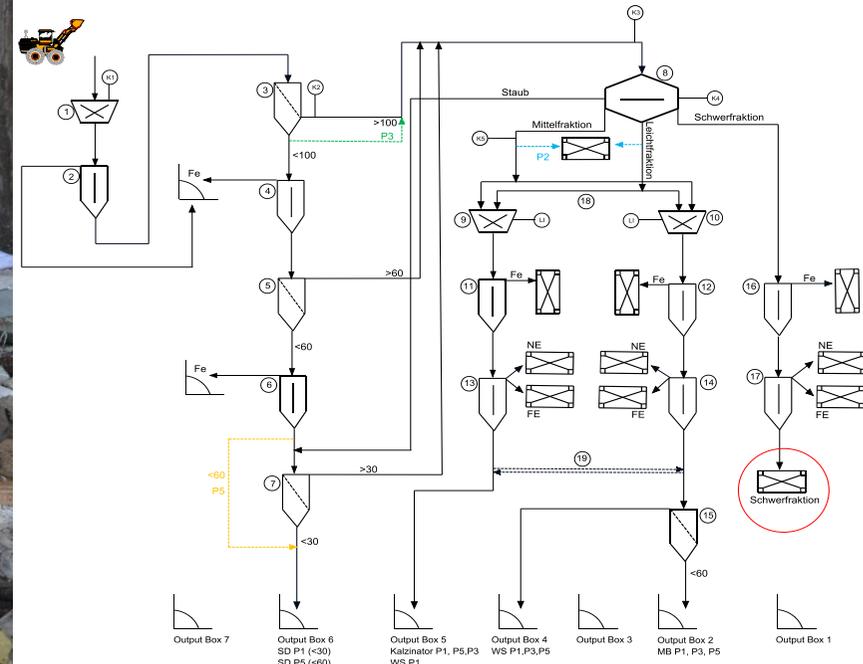
17 NE-NE Schwerfraktion:

Dosen, Spraydosen, Kupferrohre, Armaturen, Nichteisen-Profile, Alufolie, elektronische Geräte (Handy, Digitalkamera), Störstoffe: Kaffeekapseln, Papier, Tennisbälle, geringer Anteil an Holz, Kunststoffrohre bis 40 cm Länge.



Rostfraktion:

ganze Schuhe, Holzstücke (Durchschnittlich 20cm Länge), ganze Plastikflaschen, Rohrstücke (3cm Durchmesser, Länge 10-15cm), Papier, kleine Glasbehälter (9cm Länge)



Terminator Verschleißtest

Verwiegung der neuen Werkzeugzähne


DEWESoft™
 measurement innovation

Gewicht neuerliche Terminatorzähne 26.07.2016

Zähne: (Walze)	<table border="0"> <tr><td>1</td><td>2543,7</td><td>g</td></tr> <tr><td>2</td><td>2526,3</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>2525,4</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>2528,8</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2534,2</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>2539,6</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>2529,65</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>2525,2</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>2517,15</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>2500,9</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>2531,85</td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>2531,45</td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>2523,6</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>2520,05</td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>2523,0</td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>2528,85</td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>2543,75</td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>2538,4</td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>2523,55</td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>2533,25</td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>2537,55</td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>2534,75</td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td>2546,00</td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>2532,1</td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>2528,85</td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>2537,20</td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td>2529,40</td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>2528,30</td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td>2531,35</td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>2514,75</td><td></td></tr> <tr><td>31</td><td>2517,65</td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td>2516,35</td><td></td></tr> </table>	1	2543,7	g	2	2526,3		3	2525,4		4	2528,8		5	2534,2		6	2539,6		7	2529,65		8	2525,2		10	2517,15		9	2500,9		11	2531,85		12	2531,45		13	2523,6		14	2520,05		15	2523,0		16	2528,85		17	2543,75		18	2538,4		19	2523,55		20	2533,25		21	2537,55		22	2534,75		23	2546,00		24	2532,1		25	2528,85		26	2537,20		27	2529,40		28	2528,30		29	2531,35		30	2514,75		31	2517,65		32	2516,35		Gegenkamm:	<table border="0"> <tr><td colspan="3">Verschleiß-Gegenkammzahn: (Lein)</td></tr> <tr><td>1</td><td>2073,45</td><td>g</td></tr> <tr><td>2</td><td>2078,45</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>2066,90</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>2069,1</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>2076,85</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>2076,70</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>2073,15</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>2072,85</td><td></td></tr> </table>	Verschleiß-Gegenkammzahn: (Lein)			1	2073,45	g	2	2078,45		3	2066,90		4	2069,1		5	2076,85		6	2076,70		7	2073,15		8	2072,85	
1	2543,7	g																																																																																																																												
2	2526,3																																																																																																																													
3	2525,4																																																																																																																													
4	2528,8																																																																																																																													
5	2534,2																																																																																																																													
6	2539,6																																																																																																																													
7	2529,65																																																																																																																													
8	2525,2																																																																																																																													
10	2517,15																																																																																																																													
9	2500,9																																																																																																																													
11	2531,85																																																																																																																													
12	2531,45																																																																																																																													
13	2523,6																																																																																																																													
14	2520,05																																																																																																																													
15	2523,0																																																																																																																													
16	2528,85																																																																																																																													
17	2543,75																																																																																																																													
18	2538,4																																																																																																																													
19	2523,55																																																																																																																													
20	2533,25																																																																																																																													
21	2537,55																																																																																																																													
22	2534,75																																																																																																																													
23	2546,00																																																																																																																													
24	2532,1																																																																																																																													
25	2528,85																																																																																																																													
26	2537,20																																																																																																																													
27	2529,40																																																																																																																													
28	2528,30																																																																																																																													
29	2531,35																																																																																																																													
30	2514,75																																																																																																																													
31	2517,65																																																																																																																													
32	2516,35																																																																																																																													
Verschleiß-Gegenkammzahn: (Lein)																																																																																																																														
1	2073,45	g																																																																																																																												
2	2078,45																																																																																																																													
3	2066,90																																																																																																																													
4	2069,1																																																																																																																													
5	2076,85																																																																																																																													
6	2076,70																																																																																																																													
7	2073,15																																																																																																																													
8	2072,85																																																																																																																													
			<table border="0"> <tr><td colspan="3">Gegenkammzähne im Ganzen</td></tr> <tr><td>1</td><td>23,00</td><td>kg</td></tr> <tr><td>2</td><td>23,05</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>23,05</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>22,95</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>23,10</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>23,10</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>22,90</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>23,15</td><td></td></tr> </table>	Gegenkammzähne im Ganzen			1	23,00	kg	2	23,05		3	23,05		4	22,95		5	23,10		6	23,10		7	22,90		8	23,15																																																																																																	
Gegenkammzähne im Ganzen																																																																																																																														
1	23,00	kg																																																																																																																												
2	23,05																																																																																																																													
3	23,05																																																																																																																													
4	22,95																																																																																																																													
5	23,10																																																																																																																													
6	23,10																																																																																																																													
7	22,90																																																																																																																													
8	23,15																																																																																																																													

Dewesoft GmbH, Grazerstrasse 7, 8062 Kumberg, AUSTRIA Tel. +43 3132 2252, sales@dewesoft.org, www.dewesoft.com

Auswertung der Maschinenzustände, erstellt von Thomas Wiesengger (Komptech GmbH)

Mayer rec Versuch



13.7.2016 Gewerbe Müll gemischte Bestückung

Leistung: 81,635 kWh
 Zeit: 1,8h gemessene Zeit ohne Pause
 Durchsatz/m³: 174,66 m³
 Durchsatz/t: 30,22 t

13.7.2016 Restmüll gemischte Bestückung

Leistung: 122,72 kWh
 Zeit: 2,79h gemessene Zeit ohne Pause
 Durchsatz/m³: 293,87 m³
 Durchsatz/t: 37,94 t

20.7.2016 Gewerbe Müll alle Zähne

Leistung: ~~75,12~~ 114,13 kWh
 Zeit: 2,08h gemessene Zeit ohne Pause
 Durchsatz m³: 162 m³
 Durchsatz t: 18,0t

20.7.2016 Restmüll alle Zähne

Leistung: 75,12 kWh
 Zeit: 1,35h
 Durchsatz m³: 185 m³
 Durchsatz t: 37,68t

13.07.2016

DEWESoft™
measurement innovation

Gewerbe: 8~~5~~ min Arbeit > 26 kW
 30,3 min Leerlauf < (26 kW)
 2,7 min zyklisch retour (alle 4 min, 15sec. retour)
 2,7 min Blockaden retour

13.07.2016

Restmülls 131,37 min Arbeit
~~5~~ 48 min Leerlauf
 6 zyklisch retour
 0 Blockaden retour

20.7.2016 Restmüll alle Zähler

107,14 min Arbeit
 38 min Leerlauf
 4~~5~~ zyklisch retour
 0 Blockaden retour

20.7.2016 Gewerbe Müll

90,9 min Arbeit
 42,95 min Leerlauf
 5,75 min zyklisch retour
 3,8 min Blockaden retour

Blockade wird auf Drehzahlversch. geschlossen (Drehzahl Eingang und Ausgang im Gehäuse)

Nach Aufahren autom. Retoungang für 75sec.