

# **BMU-Umweltinnovationsprogramm**

## **Abschlussbericht**

### **zum Vorhaben**

### **Einsatz einer Kompaktsortieranlage zur Metallausschleusung bei Schredderleichtfraktionen**

(Aktenzeichen: MBe1-001648

Zuwendungsbescheid vom 11.09.2009)

#### **Fördernehmer:**

LSH Lübecker Schrotthandel GmbH

Dampfpfeife 12-20

23569 Lübeck

#### **Umweltbereich:**

Abfallwirtschaft

#### **Laufzeit des Vorhabens:**

02.09.2009 bis 15.10.2010

#### **Autoren:**

Thomas Tabel / LSH Lübecker Schrotthandel GmbH

Wolfgang Leistner / Die Technischmiede Maschinenbau GmbH

Rüdiger Hollm / Die Technischmiede Maschinenbau GmbH

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit

31.05.2011

## Inhaltsverzeichnis:

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens .....	6
1.2	Ausgangslage .....	6
1.2.1	Vorhandene Umweltbelastung .....	6
1.2.2	Vorhandene Möglichkeiten zur Verminderung/Vermeidung dieser Umweltbelastungen.....	7
1.2.3	Anlagentechnik in der Schredderanlage der LSH GmbH bezogen auf die Schredderleichtfraktion.....	7
1.2.4	Stand der Technik der Metallseparation aus der Schredderleichtfraktion in der Branche.....	8
<b>2</b>	<b>Vorhabensumsetzung .....</b>	<b>10</b>
2.1	Ziel des Vorhabens .....	10
2.2	Darstellung der technischen Lösung: Die Kompaktsortieranlage.....	11
2.2.1	Aufbau der Kompaktsortieranlage .....	11
2.2.2	Auslegung und Leistungsdaten .....	13
2.2.3	Beschickung der Anlage.....	14
2.2.4	Windsichter .....	16
2.2.5	Sortiereinheit.....	17
2.2.6	Detektor zur Erkennung von Metallen .....	22
2.3	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens .....	25
2.4	Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....	26
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>27</b>
3.1	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms .....	27
3.1.1	Teil A Massenbilanzen .....	30
3.1.2	Teil B Metall- bzw. Stoffbilanzen .....	45
3.2	Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	53
3.3	Umweltbilanz.....	54
3.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	55
3.5	Technischer Vergleich zum konventionellen Verfahren.....	56

<b>4</b>	<b>Empfehlungen</b> .....	<b>57</b>
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	57
4.2	Modellcharakter .....	58
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>Quellenangaben</b> .....	<b>60</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Fließbild der Sortieranlage .....	12
Abbildung 2:	Befüllungsarten des Bunkers (links) und Dosiertrommel (rechts) .....	14
Abbildung 3:	Nachträglich angebrachte Stahlplatten.....	15
Abbildung 4:	Langteilabscheider.....	16
Abbildung 5:	Windsichterausgänge .....	17
Abbildung 6:	Lage des Sensors und Kammern für Metalle und Nichtmetalle .....	18
Abbildung 7:	Düsenleiste mit Trennkante .....	18
Abbildung 8:	Sensorgestützte Sortierung.....	19
Abbildung 9:	Outputfraktionen der Behandlung von Schredderschwerfraktion in der Kompaktsortieranlage: Metallfraktion (o.li.), Nichtmetallfraktion (o.re.), Siebunterkorn < 40mm (u.li.), Windsichterleichtfraktion (u.re.) .....	20
Abbildung 10:	Austrag der Nichtmetallfraktion bei SLF mit Bandlaufrichtungen.....	21
Abbildung 11:	Rüttelsieb, Sensor, Handsortierung und Austragstellen .....	21
Abbildung 12:	Schematische Darstellung von Förderband und Detektor .....	24

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Metallgehalte in der unbehandelten u. abgeseibten SLF zum Referenzzeitpunkt.....	32
Tabelle 2: Massenverteilung der Outputfraktionen der Kompaktsortieranlage, bezogen auf den SLF-Input (Zeitpunkt Zwischenergebnis) .....	33
Tabelle 3: Metallgehalte der einzelnen Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderleichtfraktion (Zeitpunkt Zwischenergebnis).....	34
Tabelle 4: Gesamtmetallgehalt durch Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion (aus Mischschrott) und Verteilung der Metalle auf die einzelnen Outputfraktionen als Zwischenergebnis .....	35
Tabelle 5: Metallarme Outputfraktion nach Behandlung der Schredderleichtfraktion .....	36
Tabelle 6: Massenverteilung der Outputfraktionen der Kompaktsortiereinheit, bezogen auf den SLF-Input zum Projektende.....	37
Tabelle 7: Metallgehalte der einzelnen Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderleichtfraktion (Zeitpunkt Projektende) .....	38
Tabelle 8: Gesamtmetallgehalt durch Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion (aus Mischschrott) und Verteilung der Metalle auf die einzelnen Outputfraktionen zum Projektende .....	38
Tabelle 9: Metallarme Outputfraktion nach Behandlung der Schredderleichtfraktion .....	39
Tabelle 10: Massenverteilung der Schredderschwerfraktion auf die einzelnen Outputfraktionen .....	40
Tabelle 11: Metallgehalte der einzelnen Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderschwerfraktion.....	41
Tabelle 12: Gesamtmetallgehalt des Schredderschwerfraktions-Inputs und Verteilung der Metalle auf die einzelnen Outputfraktionen.....	42
Tabelle 13: Metallarme Outputfraktion nach Behandlung der Schredderschwerfraktion .....	43
Tabelle 14: Gewonnener Gesamtmetallgehalt aus der SLF zu drei Projektzeitpunkten .....	45
Tabelle 15: Im Messprogramm Teil B untersuchte Metalle .....	47
Tabelle 16: Karossen (Messzeitpunkt zum Projektende) .....	48
Tabelle 17: Weiße Ware.....	49
Tabelle 18: Elektronikschrott .....	49
Tabelle 19: Mischschrott.....	50
Tabelle 20: Ergebnisse der Analytik der Proben „G – Kompaktsortierer Absiebung < 10 mm“ (zu erkennen am Kennbuchstaben „G“ in der Spalte „Probe (Muster)“ und „I – Kompaktsortierer Metallfraktion < 40 mm (zu erkennen am Kennbuchstaben „I“ in der Spalte „Probe (Muster)“ ..	52

## **Anhänge**

Anhang 1: Beprobung der Windsichterleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 3) .....	61
Anhang 2: Beprobung des Siebunterkorn < 40mm (Verweis auf Tabelle 3).....	62
Anhang 3: Beprobung der Metallfraktion (Verweis auf Tabelle 3) .....	63
Anhang 4: Beprobung der Metallfraktion nach Optimierung an der Beschickung Dosiertrommel (Verweis auf Tabelle 3).....	64
Anhang 5: Beprobung des Nichtmetallgemischs der Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 3) .....	65
Anhang 6 : Massenbilanz für Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 2).....	66
Anhang 7: Beprobung der Schredderleichtfraktion (Tabelle 7).....	66
Anhang 8: Beprobung der Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 7) .....	67
Anhang 9: Beprobung der Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 7) .....	67
Anhang 10: Tabelle für Beprobung Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 7).....	68
Anhang 11: Massenbilanz für Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 6).....	68
Anhang 12: Massendurchsatz für Schredderleichtfraktion (3.1.1.7 im Abschlußbericht) .....	69
Anhang 13: Beprobung SLF aus Karossen (Verweis auf Tabelle 16) .....	69
Anhang 14: Beprobung SLF aus "weißer Ware" (Verweis auf Tabelle 17).....	70
Anhang 15: Beprobung SLF aus Elektronikschrott (Verweis auf Tabelle 18) .....	70
Anhang 16: Beprobung SLF aus Mischschrott (Verweis auf Tabelle 19).....	71

# 1 Einleitung

Die Firma LSH Lübecker Schrotthandel GmbH setzte sich zum Ziel, die in ihrer Schredderanlage anfallende Schredderleichtfraktion (SLF) und Schredderschwerfraktion vor Ort einer Behandlung zu unterziehen, um aus dieser möglichst viel der enthaltenen Metalle für eine Metallverwertung zu separieren und auf der anderen Seite eine möglichst metallfreie Fraktion zu erhalten. Zugleich soll dabei eine verbesserte Verwertungsquote bezogen auf die Altfahrzeug-Verordnung (Schreddern von Restkarossen) und auf das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (Schreddern von Haushaltsgroßgeräten) erreicht werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, setzt die LSH auf eine hochmoderne Technik, bei der die Metalle im Kornbereich von  $\geq 10$  mm gezielt mithilfe einer sensorgestützten Sortieranlage zurück gewonnen werden. Eine solche Technik wurde bisher nur für Schredderschwerfraktionen angewandt und stellt deswegen eine große Herausforderung im Bereich der Leichtfraktion dar. Die Behandlung der SLF mit diesem Verfahren ist bisher einzigartig in Deutschland. Um die Wirksamkeit der Metallrückgewinnung im Einzelnen zu untersuchen, aber auch um Rückschlüsse für eine Prozessoptimierung ziehen zu können, wurde ein Messprogramm zur Ermittlung entsprechender Daten initiiert.

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Kerntätigkeit der LSH GmbH ist die Aufbereitung von Schrott (Schreddervormaterial) unterschiedlichster Herkunftsbereiche. Ziel der Tätigkeit ist die Aufbereitung der angelieferten Ware zu einem fertigen Produkt, dem sogenannten Schredderschrott, der direkt an Stahlwerke im In- und Ausland geliefert wird. Das Einzugsgebiet zum Ankauf der Vormaterialien erstreckt sich hauptsächlich auf die Bundesländer Schleswig-Holstein und Hamburg aber auch überregional werden Schrotteinkäufe getätigt. Ein eigener Fuhrpark stellt die Behältergestellung bei den Entfallstellen sicher. Die Schredderanlage verfügt über eine Kapazität von 70 bis 90 Tonnen Schredderschrott im Output und wird einschichtig betrieben. Die Jahreskapazität im Input der Anlage liegt damit bei ca. 120.000 Tonnen. Zum Projektbeginn waren am Standort 24 Personen beschäftigt.

## 1.2 Ausgangslage

### 1.2.1 Vorhandene Umweltbelastung

Bei der Produktion von Schredderschrott werden im Jahresmittel ca. 20 Prozent der Eingangsmenge über die Entstaubungsanlage erfasst, diese Menge fällt als Schredderleichtfraktion (SLF) an. Die technisch mögliche Kapazität der Schredderanlage liegt bei einem Durchsatz von 90 bis 120 Tonnen Input pro Stunde.

Der Betrieb wird einschichtig gefahren, der Jahresdurchsatz der Anlage liegt je nach Verfügbarkeit des Eingangsmaterials somit bei ca. 120.000 Tonnen. Ausgehend von einem Anteil der SLF in Höhe von 20 % ergeben sich die bereits genannten Abfallmengen von ca. 24.000 Tonnen pro Jahr, welche noch Metallgehalte von bis zu 8% enthalten. Bei den Entsorgungswegen vor Projektbeginn wurden diese Metalle nicht separiert und gingen dem Wirtschaftskreislauf als metallische Sekundärrohstoffe verloren.

### **1.2.2 Vorhandene Möglichkeiten zur Verminderung/Vermeidung dieser Umweltbelastungen**

Der Einsatzzweck einer Shredderanlage ist die Auftrennung des Eingangsmaterials in diverse Stoffgruppen mit dem Ziel saubere Schrotte und Metalle (Aluminium, Edelstahl, Kupfer etc.) zu gewinnen. Das Eingangsmaterial (Verbundstoffe) wie beispielsweise Restkarossen oder Haushaltsgroßgeräte (Waschmaschinen, Geschirrspüler etc.) besteht nicht nur aus FE- und NE Metallen sondern auch aus Kunststoffen, mineralische Stoffe, Holz, Glas, Gummi etc.. Die Anlage hat also den ausschließlichen Zweck diese diversen „Verunreinigungen“ von den FE- und NE Metallen zu trennen. Je besser die Abtrennung vorgenommen wird, desto reiner sind die FE- und NE Metalle und damit auch die direkten Einsatzmöglichkeiten als Rohstoff in Stahlwerke und Metallhütten, aber auf der anderen Seite desto mehr Metallverluste in die SLF müssen in Kauf genommen werden. Eine Vermeidung der Belastung innerhalb der Anlage ist somit prozessbedingt nur in gewissem Rahmen beziehungsweise auf Kosten der Schrottreinheit möglich.

### **1.2.3 Anlagentechnik in der Schredderanlage der LSH GmbH bezogen auf die Schredderleichtfraktion**

Die vorhandene Shredderanlage wurde im Jahr 2007 von der Firma Metso Lindemann (Hersteller aus Düsseldorf) im Rahmen einer Modernisierung des Standortes neu errichtet. An die Schredderanlage ist eine Entstaubungsanlage angeschlossen, sie arbeitet nach der sogenannten Zweistufen-Abscheidung:

1. Stufe → Vorreinigung durch Fliehkraft – Abscheidung im Zyklon.
2. Stufe → Nachreinigung in einem Venturi – Wäscher.

Die am Zerkleinerer und am Sieb abgeseugte staubbeladene Rohluft wird in einem Zyklon von grobem Staub und Abfall vorgereinigt. Das abgeschiedene trockene Material wird mittels Zellenradschleuse kontinuierlich ausgelesen. Die vorgereinigte Luft aus dem Zyklon wird dem Venturi-Wäscher zu Nachreinigung zugeführt. Im Wäscher werden die nach dem Zyklon noch in

der Abluft enthaltenen Staubanteile auf den geforderten Wert (TA-Luft)<sup>1</sup> reduziert. Dies erfolgt durch Eindüsen von Wasser in der Venturikehle, in welcher sich feine Wassertropfen bilden, an die die Staubpartikel gebunden werden.

Im nachgeschalteten Separator wird das Wasser-Feststoffgemisch von der Luft durch Zentrifugal- und Massenträgheitskräfte getrennt. Das Schmutzwasser gelangt zur Klärung in die Wasseraufbereitungsanlage. Während das geklärte Waschwasser über Pumpen dem Venturi wieder zugeführt wird, werden die Feststoffe mittels Kratzerförderers ausgetragen. Die Reinaluft wird über eine Verbindungsrohrleitung durch den Ventilator aus dem Abluftkamin ausgeblasen.

Das von den Zellenradschleusen ausgetragene Material (SLF) wird über staubgeschützte Transportbänder zur SLF-Aufbereitung geleitet. Die im Staub enthaltenen magnetisierbaren Fe – Teile werden mittels Überband- Magnetscheider nach oben herausgezogen und auf Halde abgeworfen. Da sich an diesen Fe-Teilen allerdings noch diverse Verunreinigungen in Form von Folien oder Gummistücken befinden können, wird dieses Material nochmals der Schredderanlage zur erneuten Auftrennung aufgegeben.

Die von Fe-Teilen weitestgehend befreite SLF (Restgehalt Fe ca. 1,0 Gew.%) wird über ein nachgeschaltetes Reversierband entweder auf Halde (Bypass) oder einer Siebtrommel zugeführt. Die Siebtrommel trennt die Schredderleichtfraktion in 2 Fraktionen. Die Feinfraktion fällt direkt in eine Sammelbox unterhalb der Siebtrommel. Dieses Material ist so beschaffen, das es die Zuordnungskriterien für Einbaumaßnahmen auf Deponien einhält und ordnungsgemäß entsorgt werden kann. Der Mengenanteil dieser Fraktion beträgt etwa 7.000 t/a. Es verbleiben ca. 17.000 t/a Grobfraktion (Siebtrommelüberlauf) die ebenfalls in eine Sammelbox fällt.

#### **1.2.4 Stand der Technik der Metallseparation aus der Schredderleichtfraktion in der Branche**

Die oben für den Schredder LSH beschriebene Anlagentechnik der Post-Schredder-Separation der Metalle aus der Schredderleichtfraktion (Magnet und Siebtrommel), wird auch in der Regel bei anderen Schredderanlagen dezentral angewandt.

Die Fe-Teile werden wie beschrieben weitestgehend mit Überbandmagneten abgetrennt. Um nun auch die NE-Metalle aus dem Abfallstrom zurück zu gewinnen, entspricht es dem Stand der Technik, dass der Siebtrommelüberlauf einem Vibrationsförderer zugeführt wird. Dieser verteilt das Material gleichmäßig auf einen sogenannten Wirbelstromscheider, der hauptsächlich Aluminium erfassen kann und aus dem Abfallstrom ausschleust. Nach unserer Erfahrung wird damit eine Abscheidung der NE-Metalle von ca. 1,5 bis 2,0 Gew.-% bezogen auf die gesamte SLF erreicht.

Ein anderes Konzept ist die Post-Schredder-Behandlung der Schredderleichtfraktion in großtechnischen Anlagen. Diese Anlagen übernehmen überwiegend die gänzlich unbehandelte

---

<sup>1</sup> Technische Anleitung Luft

Schredderleichtfraktion zur intensiven Aufbereitung in einzelne Stoffgruppen. Als Stand der Technik sind beispielhaft Verfahren zu nennen wie: [1]

- das VW-SiCon Verfahren,
- das Verfahren der Scholz AG,
- das WESA-SLF Verfahren,
- das SRP Verfahren,
- das Verfahren der COMETSOMBRE
- das Galloo SRTL-Verfahren
- das Verfahren der TBS GmbH [2]
- und weitere mehr

Die zentralen Aufbereitungsanlagen haben in der Regel nicht nur das Ziel die Metalle aus der Schredderleichtfraktion zu separieren, sondern gezielt auch alle anderen Stoffe (Kunststoffe, Gummi, Holz, Textilien, Steine, Glas etc.) in einzelne Gruppen aufzutrennen und einer entsprechenden Verwertung zuzuführen.

Für die Aufbereitung der Schredderleichtfraktion besteht jedoch das Problem der Heterogenität des Abfalls, hier sind u.a. folgende Eigenschaften zu nennen:

- Die Zusammensetzung und Korngrößenverteilung ist starken kurzfristigen Schwankungen unterworfen, die vom Input des Shredders abhängig ist.
- Der Metallgehalt der Shredderleichtfraktion ist von der Luftströmung der Entstaubung und von der Art des Inputs abhängig.
- Heizwertreiche Fraktionen (Gummi, Kunststoffe, Textilien, usw.) befinden sich vor allem in Korngrößen von  $\geq 30$  mm bis 200 mm.
- Es können sich massive Metallteile in der SLF befinden.
- Die Schüttgewichte belaufen sich zwischen 200 und 500 kg/m<sup>3</sup> (abhängig von der Schreddertechnik) [5]

Diese Faktoren erfordern hinsichtlich der sortenreinen Auftrennung der unterschiedlichen Bestandteile in der Schredderleichtfraktion eine komplexe Anlagentechnik, die sehr hohe Investitionskosten beinhaltet und für den einzelnen Schredderbetreiber nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Daher ist eine Anlagenkonzeption in dieser Größenordnung auch nur zentral möglich und eine größere Menge Schredderleichtfraktion als Input ist für den Anlagenbetrieb Voraussetzung. Diese Mengen SLF müssten zusätzlich am Markt akquiriert werden oder stehen durch Eigenanfall eigener mehrerer Schredderanlagen zur Verfügung.

Als Betreiber nur einer Schredderanlage verfolgen wir mit unserer Anlage ein anderes Ziel und beschränken uns auf die Metallrückgewinnung aus der Schredderleichtfraktion. Der technische Aufwand ist im Vergleich zu den zentralen Anlagen nicht so komplex und daher eine Installation vor Ort auch für eine Schredderanlage bereits zum jetzigen Zeitpunkt wirtschaftlich.

## 2 Vorhabensumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Wie unter dem Punkt 1.2.4 „Stand der Technik der Metallseparation aus der Schredderleichtfraktion in der Branche“ beschrieben, können mit üblichen Techniken (Wirbelstrom-Scheider) ca. 1,5 bis 2,0 Gewichtsprozent NE-Metalle aus der Schredderleichtfraktion abgetrennt werden.

#### Ziel

Ziel des Vorhabens ist es, mit der Aufbereitungstechnik der LSH Lübecker Schrotthandel GmbH, mindestens 5,0 Gewichtsprozent NE-Metalle aus der Schredderleichtfraktion zu separieren. Die abgetrennten Ne-Metalle bestehen dabei etwa zu 40% aus Aluminium, 40 % Edelstahl (VA) und 20 % Buntmetalle [6]. Für eine Schredderanlage unserer Größe mit den beschriebenen Mengendurchsätzen erzielen wir damit eine Verbesserung von mindestens 3,0 Gewichtsprozent oder ca. 700 Tonnen weniger Abfall pro Jahr gegenüber vergleichbaren Anlagen. Diese ca. 700 Tonnen abgetrennte Fraktion, die nun als Metalle bzw. Metallgemische anfallen, werden direkt dem Wirtschaftskreislauf als Rohstoff für die Sekundärproduktion zur Verfügung gestellt und sparen damit wiederum wertvolle Rohstoffe ein, die vergleichsweise nötig wären um die gleiche Menge Ne-Metall zu erzeugen. Beispielsweise wird bei der Primärproduktion von Aluminium ca. die vierfache Menge an Rohstoff gegenüber der Sekundärproduktion benötigt. Der eingesparte Energieeinsatz muss hier zusätzlich berücksichtigt werden und ist erheblich.

#### Ausgangslage

Wie eingangs beschrieben, verteilt sich der gesamte Anfall von Schredderleichtfraktion unserer Anlage von insgesamt ca. 24.000 Mg/a wie folgt: 7.000 Mg/a (29%) abgeseibte mineralische Fraktion und 17.000 Mg/a (71%) Siebtrommelüberlauf.

Diese 17.000 Mg/a, die noch metallhaltig sind, sollen mit der neuen Sortiereinheit behandelt werden. Eigene Separier- und Siebversuche mit der Schredderleichtfraktion, die im Vorfeld im Labormaßstab durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass der NE-Metallanteil in der Schredderleichtfraktion (ohne den abgeseibten Anteil) im Mittel bei ca. 8 % liegt und schwankend abhängig vom Eingangsmaterial ist. Der NE-Metallanteil von 8 % bezieht sich hier auf Mischschrott.

Bei einem mittleren Durchsatz (Materialinput) der Schredderanlage von 90 Mg/h und einem Anteil von 20% gesamter Schredderleichtfraktion fallen 18 Mg/h Shredderleichtfraktion an. Diese teilen sich zu 29 % abgeseibter Fraktion - damit 5,2 Mg/h und 71 % Siebtrommelüberlauf – damit 12,8 Mg/h auf. Diese 12,8 Mg/h haben nun noch einen NE-Metallanteil von bis zu 11 %. Das entspricht einem **Metallgehalt** bezogen auf die **gesamte Schredderleichtfraktion** [24.000 Mg/a = 7.000 Mg/a + 17.000 Mg/a] **von ca. 7,8 Gewichtsprozent.**

## **2.2 Darstellung der technischen Lösung: Die Kompaktsortieranlage**

Es werden mittlerweile diverse Sortieranlagen angeboten, die durch optische Erkennung Metalle detektieren und aus diversen Stoffströmen mittels Luftdruck ausschleusen können. Die Verfahren arbeiten nach dem Induktionserkennungsprinzip: Das Aufgabematerial wird vereinzelt und über ein Förderband der Sortieranlage zugeführt. Hier läuft meist ein Sortierband, auf dem mittels Sensoren (z.B. Zeilenkameras) die einzelnen Bestandteile mehr oder weniger gut erkannt werden. Aus diesen Informationen errechnet ein PC nahezu zeitgleich die Lage der einzelnen Materialien, um die Metalle am Ende des Bandes mittels Druckluft aus dem Massenstrom herauszuschleusen.

Die Anlagen haben allerdings den Nachteil, dass sie nicht schnell genug detektieren und ausschleusen können, um direkt in unseren Produktionsprozess eingesetzt zu werden. Umfangreiche Recherchen haben uns zu einer Kompaktsortieranlage geführt, die bisher im Bereich der Metallausschleusung bei MVA-Schlacken und bei der Schredderschwerfraktion eingesetzt wird.

### **2.2.1 Aufbau der Kompaktsortieranlage**

Wir haben den Kompaktsortierer durch spezielle Modifikationen nun erstmalig für die Metallausschleusung in der Schredderleichtfraktion eingesetzt, eine Variante die bisher bei keiner Schredderanlage zum Einsatz kommt. In einem Sortiervorgang werden nahezu alle NE-Metalle aus dem Materialstrom ausgeschleust. Diese Fraktion kann dann bei einem zweiten Durchgang beispielsweise nur auf Edelstahl detektiert werden.

Im folgenden Fließbild (Abbildung 1) ist der Aufbau und Verfahrensablauf der Sortieranlage dargestellt. Die blauen Rechtecke stellen die einzelnen Verfahrensschritte dar. Die gelben Rauten verdeutlichen ebenfalls die jeweiligen Trenn- bzw. Sortierschritte und die grünen Rechtecke entsprechen dem Ende einer Prozesskette.

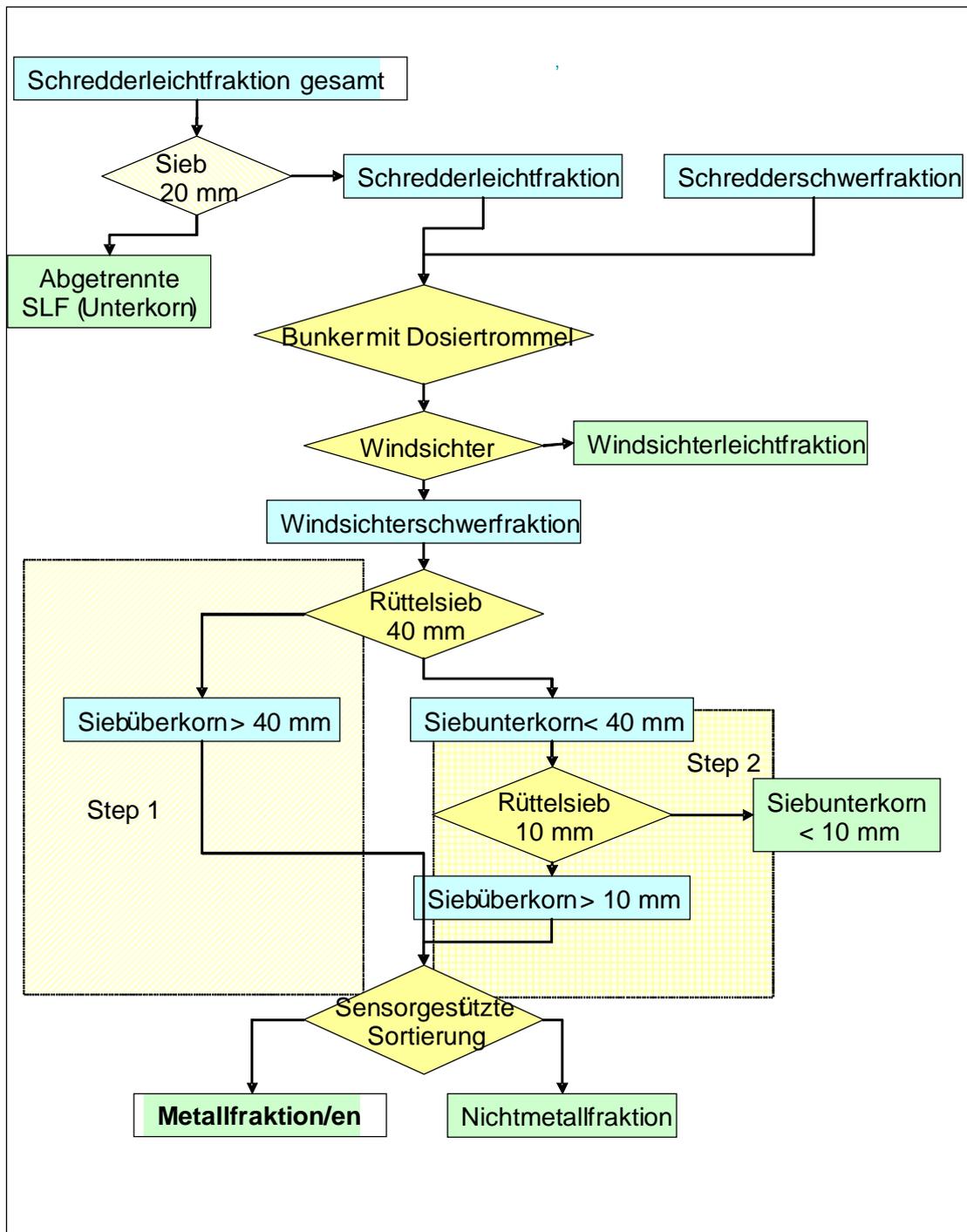


Abbildung 1: Fließbild der Sortieranlage

### Funktionsweise der Anlage

Die Schredderleichtfraktion wird **innerhalb der Produktionskette** über einen Bunker mit integrierter Vereinzelungseinheit mittels Steigeband und über einen Windsichter der Kompaktsortiereinheit zugeführt. Alternativ kann statt der Schredderleichtfraktion auch die Schredderschwerfraktion dem Bunker mittels Radlader zugeführt werden. Die Aufgabe- bzw. der Übergabepunkt ist eine Vereinzelungsrinne der Kompaktsortiereinheit. Hier erfolgt vor der Detektierung ein Siebschnitt von 40 mm. Dieses Material (< 40 mm) fällt in eine Sammelbox

und wird zu einem späteren Zeitpunkt mittels Radlader erneut der Kompaktsortieranlage zugeführt (Step 2 laut Abbildung 1).

Je nach Sortierprogramm werden alle Metalle oder nur bestimmte Metallsorten heraussortiert. Das nicht „geschossene“ Material fällt auf ein Abförderband und wird je nach Sortierprogramm zum Abfall –bzw. Metallbunker befördert. Das „geschossene“ Material wird je nach Sortierprogramm in entsprechende Boxen transportiert und kann ggf. zu einer erneuten Sortierung (auf bestimmte Metalle, z.B Edelstahl) der Kompaktsortiereinheit zugeführt werden. Die Sortierreste (Schredderabfall), die nach unserer Planung ca. 93 % der verarbeiteten Menge von 17.000 t ausmachen werden, müssen bis zum Abtransport und damit der Entsorgung, geschützt vor Niederschlag gelagert werden. Aus diesem Grund ist auf der Ausschleusungsseite des Windsichters eine Halle gebaut worden, die an drei Seiten geschlossen ist (Remise).

### **2.2.2 Auslegung und Leistungsdaten**

Die Sortieranlage wurde für einen Input der Schredderanlage von 120.000 Mg/a ausgelegt. Die beim Schredderprozess anfallende Schredderleichtfraktion (siehe 2.1) soll „online“ die Anlage passieren. Grundlage sind somit im ersten Step 17.000 Mg/a. Bei einem Durchsatz von ca. 13 Mg/h ergeben sich somit 1308 Betriebsstunden pro Jahr. Von den 17.000 Mg/a werden im ersten Step ca. 1190 Mg (7%) „geschossen“. Für einen zweiten Durchlauf werden diese 1190 Mg erneut über den Bunker der Anlage zugeführt und geplant mit 4 Mg/h auf Edelstahl detektiert. Aus diesem Schritt ergeben sich weitere 298 Betriebsstunden pro Jahr.

#### **Leistungsdaten Kompaktsortierer:**

Veranschlagte Betriebsstunden:	1606 h/a
Kompressorleistung:	2 x 22 KW
3D-Sieb und Sortierer:	8 KW

#### **Leistungsdaten Materialzuführung (Transportbänder, Bunker, Windsichter)**

Dosierbunker:	28 m <sup>3</sup> , Antrieb 11,5 KW
Windsichter:	50 KW
Förderbänder:	25 KW

## 2.2.3 Beschickung der Anlage

### Bunker

Die Sortieranlage kann auf zwei unterschiedliche Weisen zur Befüllung des Bunkers betrieben werden. Zum einen ist die Anlage an den Siebtrommelaustritt der Schredderanlage gekoppelt, wodurch der Bunker über zwei Förderbänder mit der Schredderleichtfraktion befüllt werden kann. Zum anderen kann der Bunker über einen Radlader von der Seite mit der Schwerfraktion beschickt werden (vgl. links). In diesem Fall werden die ersten zwei Bänder nicht betrieben.



**Abbildung 2: Befüllungsarten des Bunkers (links) und Dosiertrommel (rechts)**

### Dosiertrommel

Am Ende des Bunkers befindet sich eine Dosiertrommel, welche eine gleichmäßige Beschickung der Förderbänder ermöglicht. Des Weiteren dienen die Schaufeln zur Auflockerung des aufgegebenen Materials.

Das Bunkerband befördert die Schredderleicht- bzw. Schredderschwerfraktion zur Dosiertrommel. Anschließend nimmt sie das Material auf, indem sie sich im Uhrzeigersinn dreht (rechts mit einem gelben Pfeil gekennzeichnet). Auf diese Weise nimmt sie die Fraktion von unten auf und kippt sie kopfüber auf das nächste Förderband. Kleinere Teile gelangen unter die Trommel hindurch auf dieselben Bänder.

### Optimierung der Dosiertrommel

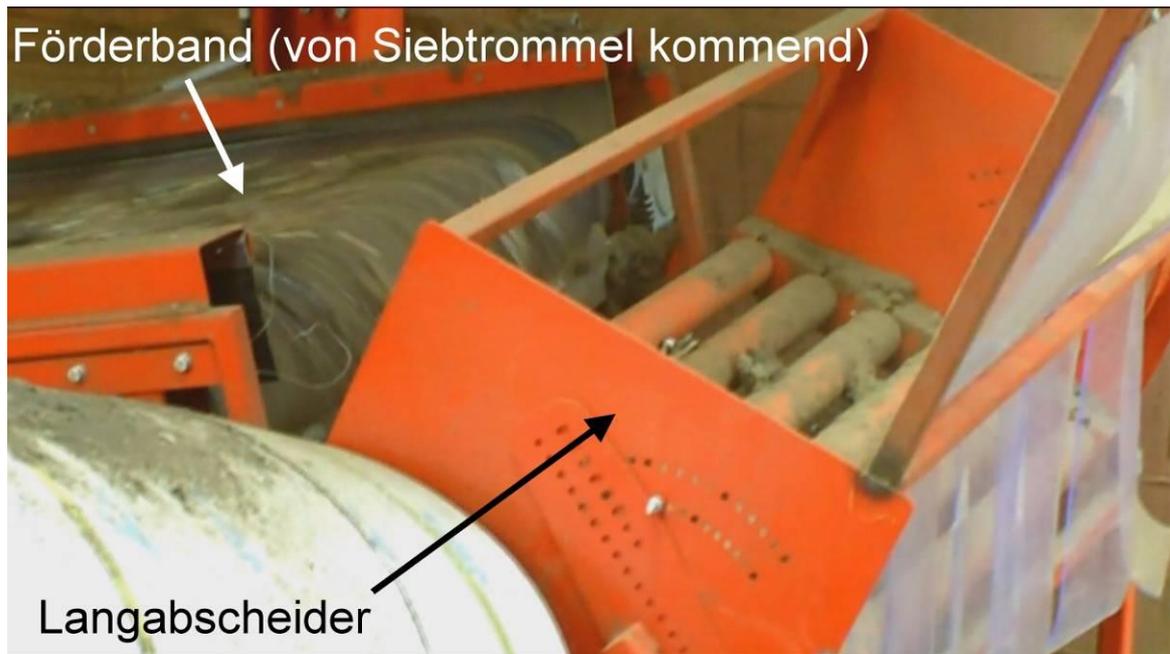
Bei Versuchen mit der Schredderleichtfraktion kam es im Bunker zu Verdichtungen an den Rändern der Dosiertrommel bzw. des Bunkers, was zu Verstopfungen und einem Überlaufen des Bunkers führte. Das Bunkerband lief unter dem Material leer durch und die SLF wurde nicht mehr weitergeführt. Aus diesem Grund wurden Optimierungsmaßnahmen an der Dosiertrommel durchgeführt, welche in der Abbildung 3 gezeigt werden. Es wurden an drei Schaufeln jeweils ein Stahlblech in Form einer Ellipse versetzt nach vorne zeigend angebracht (links, rechts, mittig) und an einer vierten Schaufel zwei abgerundete, rechteckige Stahlbleche links und rechts nach außen an den Rand zeigend. Mit dieser Maßnahme sollen zukünftige Verstopfungen und ein Überlaufen des Bunkers verhindert werden.



**Abbildung 3: Nachträglich angebrachte Stahlplatten**

### Langteilabscheider

Nach der Trommel befindet sich nach einem Förderband ein Langteilabscheider. Dieser soll lange und sperrige Teile, wie z. B. große Schaumstoffteile oder Stäbe die den Prozess stören, ausgesondert werden. Obwohl es sich um eine einfache Konstruktion handelt, stellt der Langabscheider ein wichtiges Element zur Sicherstellung der Prozesssicherheit dar. In Abbildung 4 wird der Abscheider bildlich dargestellt.



**Abbildung 4: Langteilabscheider**

Man kann anhand dieses Bildes erkennen, dass sich der Langteilabscheider dicht am Förderband befindet und leicht geneigt ist. Der Abstand wurde so gewählt, dass das Material knapp vor dem Abscheider auf das nächste Band fällt, die langen Teile jedoch auf den Abscheider gelangen und über dessen Rollen abtransportiert werden. Lange und schmale Teile (wie z. B. Holzlatten oder Metallstäbe), die parallel zu dem Langteilabscheider angeordnet sind, kann dieser aufgrund ihrer schmalen Breite nicht aussortieren und da die Förderbänder sich in einem rechten Winkel zueinander befinden, liegen diese sperrigen Teile auf dem nächsten Band wieder in Längsrichtung zum Förderband. Aus diesem Grund war es erforderlich, einen zweiten Langteilabscheider nach diesem Förderband anzubringen. Diese Optimierungsmaßnahme verhindert den Eintrag von Langteilen im weiteren Verarbeitungsprozess.

#### **2.2.4 Windsichter**

Im Anschluss an die Langteilabscheider wird das Material über weitere Förderbänder, die die Fraktionen noch einmal auflockern und gleichmäßiger verteilen, dem Windsichter zugeführt. In dieser Stufe werden nun alle flugfähigen Stoffe (Windsichterleichtfraktion), wie z. B. Flusen, Folien und Schaumstoffe, von den schwereren Teilen (Windsichterschwerfraktion) getrennt, die aus Metallen, Kunststoffen, Holz sowie verschiedenen Verbunden bestehen. In der Abbildung 5 werden die beiden Ausgänge gezeigt. Die Windsichterleichtfraktion wird direkt in eine Halle geleitet und dort gebunkert (zum Zeitpunkt der Aufnahme befand sich die Halle noch im Bau). Die leichte Fraktion des Windsichters besteht aus kleinen, feinen Flusen, Folien, Kunststoffen und anderen leichten Materialien. Diese metallfreie Fraktion ist von der Bezeichnung her wieder als Schredderleichtfraktion benannt und wird einer ordnungsgemäßen Entsorgung zugeführt (Abgabe zur Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen oder als Einsatzmaterial in

Ersatzbrennstoff-Aufbereitungsanlagen). Die schwerere Fraktion, die erwartungsgemäß auch die Metalle enthält, gelangt über weitere Förderbänder letztendlich zur Sortiereinheit.



**Abbildung 5: Windsichterausgänge**

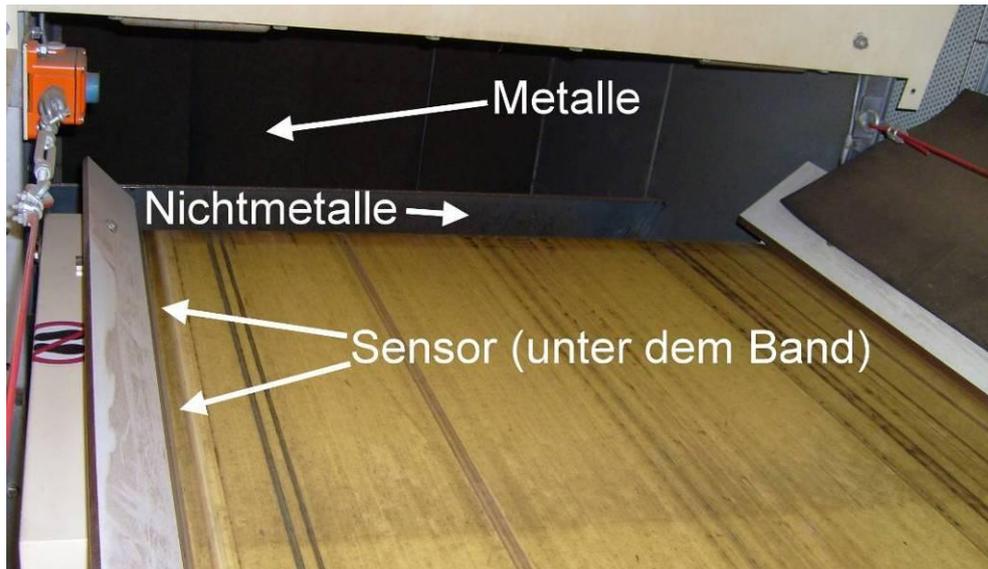
### **2.2.5 Sortiereinheit**

#### **Rüttelsieb (3D-Sieb, 40mm und 10mm)**

Zunächst wird die Windsichterschwerfraktion vor dem Sensor zur Vereinzelung mit einem Rüttelsieb, Maschenweite 40 mm im ersten Step (unteres Sieb) oder 10 mm im zweiten Step (oberes Sieb), gesiebt. Das Siebunterkorn ( $< 40$  mm) fällt in eine Sammelbox und wird später nochmals auf die Anlage gegeben (Step 2 im Fließbild). Der zweite Durchgang unterscheidet sich vom Ersten durch die schnellere Bandgeschwindigkeit des Förderbandes vor dem Rüttelsieb. Dadurch entsteht eine längere bzw. höhere Flugbahn, sodass die Fraktion  $< 40$  mm auf das obere Sieb mit einer Maschenweite von 10mm geschleudert wird.

Das Siebunterkorn  $< 10$ mm kann derzeit aufgrund der Düsenabstände und der Erkennungsfähigkeit des Sensors nicht zuverlässig aussortiert werden. Diese Fraktion enthält diverse Metalle und wird an externe Aufbereitungsanlagen zur weiteren Metallausschleusung abgegeben.

Der jeweilige Siebüberlauf ( $> 40$ mm erster Step, bzw.  $> 10$ mm zweiter Step) gelangt anschließend in ausreichender Vereinzelung auf ein Band, unter dem sich am Ende der Sensor befindet, der an Druckluftdüsen gekoppelt ist (vgl. Abbildung 6). In 2.2.6 wird näher auf das Funktionsprinzip des Sensors eingegangen.

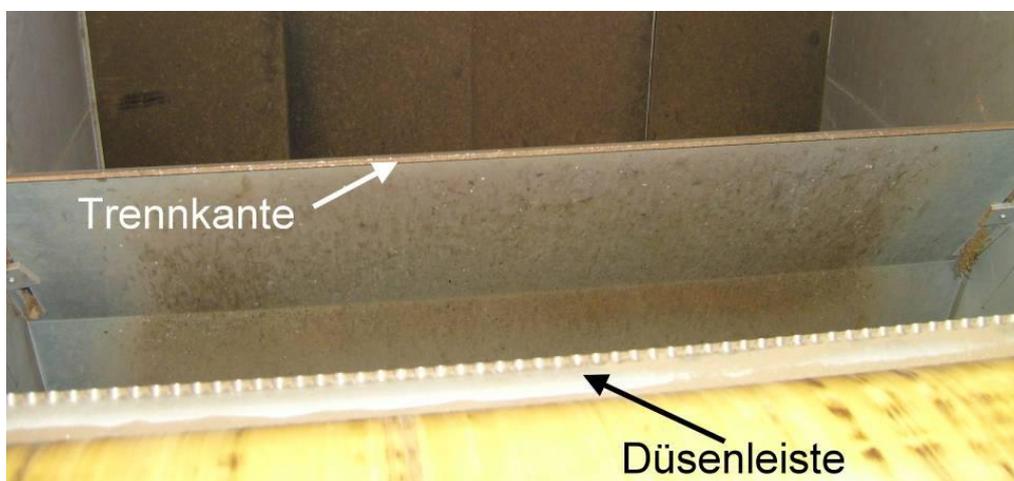


**Abbildung 6: Lage des Sensors und Kammern für Metalle und Nichtmetalle**

Die Sortiereinheit selbst ist in einem Container untergebracht und benötigt gegenüber der konventionellen Bauweise viel weniger Platz. Durch die Containerbauweise lassen sich die Staub- und Lärmbelastigungen minimieren. Infolge des kompakten Aufbaus ist es möglich zum Kompaktsortierer weitere Aggregate, wie die komplette Druckluftaufbereitung bestehend aus Kompressor, Drucklufttrockner und großem Drucklufttank sowie die vorgeschaltete Vereinzelungseinheit (mit dem „3-D Sieb“) in einem Standardcontainer unterzubringen.

Der Sensor erkennt die Metalle und mithilfe der Düsenleiste werden diese gezielt ausgeschossen. Der gezielte Ausschuss ist deshalb möglich, weil jede Düse einzeln angesteuert werden kann. Die Anlage ist in der Lage, bis zu 1.000.000 Schüsse in einer Minute zu absolvieren. Daraus resultiert eine sehr hohe Genauigkeit sowie eine hohe Reinheit. Durch den Schuss gelangen die Metalle über die Trennkante auf das Austragsband und in die Sammelbox.

In Abbildung 7 ist die Düsenleiste mit der Trennkante dargestellt. Hier kann man leicht erkennen, wie die Düsen schräg nach oben gerichtet sind.



**Abbildung 7: Düsenleiste mit Trennkante**

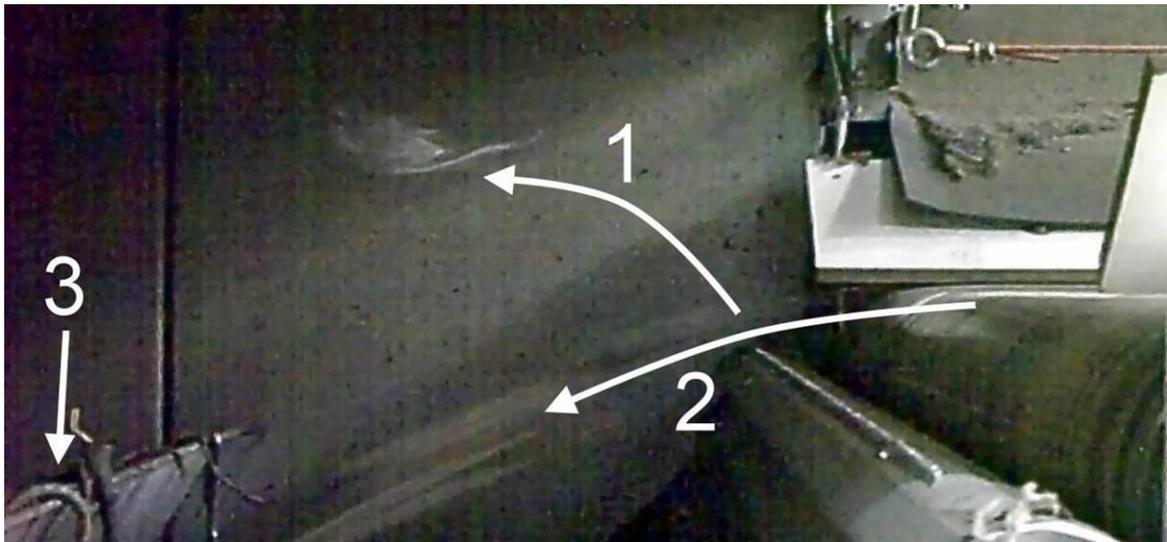
Aufgrund der Geschwindigkeit der Metalle ergibt sich eine eine große Parabel beschreibende Flugbahn der Metalle.

Die Abbildung 8 zeigt eine Momentaufnahme der Sortierung während des Betriebes:

(1) zeigt ein angeschossenes Metall, welches in die hintere Kammer gelangt.

(2) ist ein Nichtmetall, das in die Nichtmetallfraktion (vordere Kammer) fällt.

Bei (3) handelt es sich um Drähte oder Stäbe mit starken Verkrümmungen, die nicht optimal angeschossen wurden und deshalb an der Trennkante hängen geblieben sind. In den meisten Fällen gelangen diese Teile, wie auch Metalle mit rundlichen Formen, in die Nichtmetallfraktion.



**Abbildung 8: Sensorgestützte Sortierung**

### **Mögliche Fehlausträge**

Es gilt jedoch zu beachten, dass es dennoch zu Fehlausträgen kommen kann.

#### a) Metalle in der Nichtmetallfraktion

Ein Grund für die Fehlausträge sind dünne, lange und gekrümmte Drähte bzw. Stäbe, die nur wenige Auflagepunkte besitzen. Dadurch kann der Sensor nicht die gesamte Form erkennen und schießt daher solche Teile nicht optimal an, wodurch sie in die Nichtmetallfraktion gelangen. Des Weiteren kann es vorkommen, dass sich runde Metallteile trotz entsprechender Vorrichtungen nicht beruhigen können und über das Band rollen oder „kullern“. Der Sensor erkennt zwar das Metall, aber der Schuss, der nur die Geschwindigkeit des Bandes berücksichtigt, erfolgt dann zu spät. Somit gelangt das Metall auf das Förderband für die Nichtmetallfraktion.

#### b) Nichtmetalle in der Metallfraktion

Es ist ebenfalls möglich, dass Nichtmetalle in die Metallfraktion gelangen. Dies geschieht vor allem dann, wenn Metalle in Kunststoffe (z.B. Autoreifenteile) oder in Mineralien (in Form von

z.B. Eisenoxid) eingearbeitet bzw. in ihnen enthalten sind oder wenn sie sich unter Textilienstücken (von z.B. Autositzen) oder ähnlichen großflächigen Teilen befinden, auf die geschossen wird.

Im Fall der Schredderschwerfraktion als Aufgabegut gelangen die zwei sortierten Fraktionen nun in die Handsortierung, bei der zwei Mitarbeiter Störstoffe entfernen und somit die Reinheit auf > 99 % auf beiden Seiten erhöhen. Bei der Schredderleichtfraktion können im ersten Step nicht so hohe Reinheiten erzielt werden, da eine Handsortierung aufgrund der Materialbeschaffenheit nicht sinnvoll ist. Jedoch ist die Aufgabenstellung bei der Schredderleichtfraktion die, möglichst metallfreie Fraktionen zu erlangen.

Im Anschluss werden die sortierten und reinen Fraktionen in Sammelboxen gegeben.

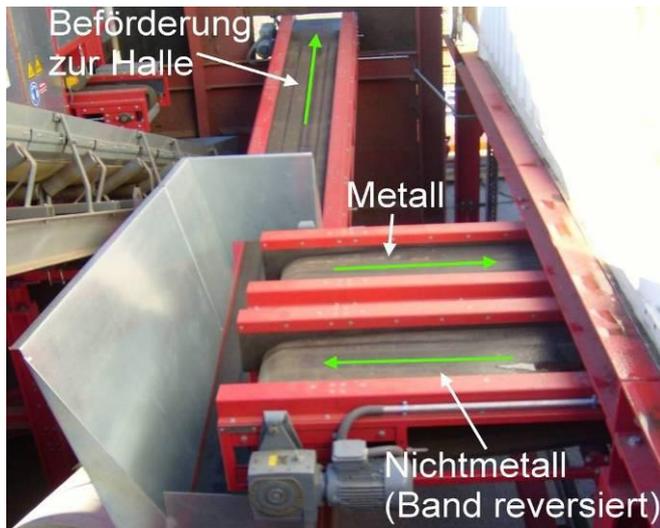
Abbildung 9 zeigt deutlich die vier Fraktionen, die bei der Behandlung der Schredderschwerfraktion entstehen. Oben links ist die Metallfraktion zu erkennen, die hauptsächlich aus VA besteht, aber auch kleine Anteile von Aluminium, Kupfer und Messing aufweist. Oben rechts befindet sich die Nichtmetallfraktion. Bis auf die Kabellitzen ist sie frei von Metallen. Das Siebunterkorn < 40 mm ist unten links zu sehen. In dieser Fraktion befinden sich noch Metalle, die in einem zweiten Step gewonnen werden. Die vierte Darstellung ist die Windsichterleichtfraktion (unten rechts).



**Abbildung 9: Outputfraktionen der Behandlung von Schredderschwerfraktion in der Kompaktortieranlage: Metallfraktion (o.li.), Nichtmetallfraktion (o.re.), Siebunterkorn < 40mm (u.li.), Windsichterleichtfraktion (u.re.)**

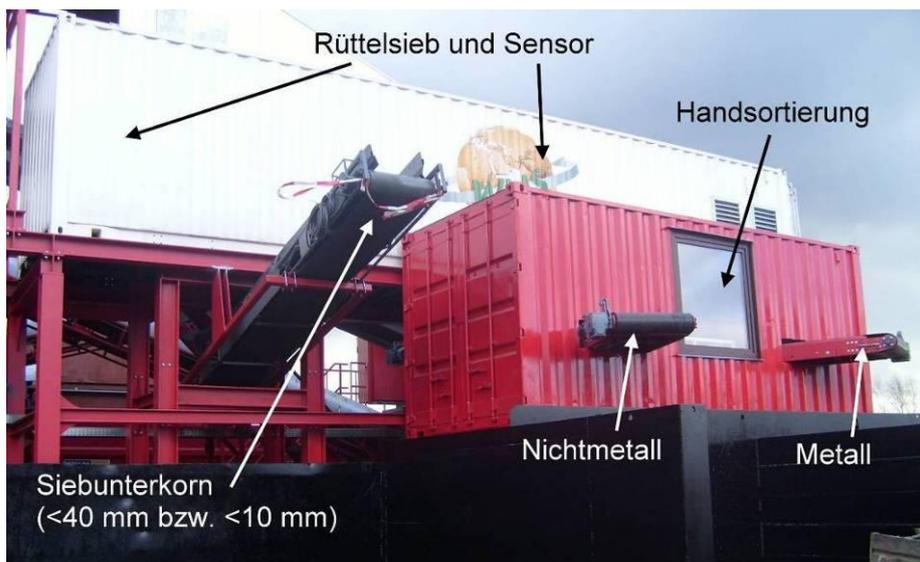
Im Fall der Schredderleichtfraktion ist der Störstoffgehalt in der Metallfraktion höher als bei der Verarbeitung der Schredderschwerfraktion. Das liegt daran, dass sich die feinen Drähte in den Flusen der SLF verhaken und zu größeren Verbunden verbinden. Ferner ist der Stoffstrom bei der SLF höher und macht die Handsortierung sehr schwierig, bzw. unwirtschaftlich. Daher

erfolgt hier keine weitere Handsortierung. Aufgrund der kleinen Fraktionsgröße und der daraus resultierenden Gefahr der Verwehung wird das Nichtmetallgemisch in die Halle, in der der Windsichterausgang gesammelt wird, umgeleitet. Beide Fraktionen in der Halle sind nahezu frei von Metallen und werden gemeinsam entsorgt. Der nun sehr geringe Metallgehalt ( $< 1\%$ ) in dieser Abfallfraktion erschließt uns weitere Entsorgungsmöglichkeiten hinsichtlich der direkten Verbrennung oder auch Abgabe an Aufbereitungsanlagen für Ersatzbrennstoffe. In Abbildung 10 ist die Umleitung bzw. der Austrag der Nichtmetallfraktion bei der Schredderleichtfraktion dargestellt, dabei sind die Bandlaufrichtungen mit grünen Pfeilen gekennzeichnet.



**Abbildung 10: Austrag der Nichtmetallfraktion bei SLF mit Bandlaufrichtungen**

Folgende Abbildung 11 zeigt noch einmal die Handsortierung, die drei Austragsstellen (Siebunterkorn, Nichtmetall und Metall) sowie die Lagen des Rüttelsiebes und des Sensors:



**Abbildung 11: Rüttelsieb, Sensor, Handsortierung und Austragsstellen**

## **Sortierung in unterschiedliche Metallfraktionen**

Die durch dieses Verfahren zurückgewonnene Metallfraktion kann ein weiteres Mal in die Sortieranlage gegeben werden. Bei diesem Schritt wird der Sensor so eingestellt, dass er nur noch VA-Metalle erkennt und auf diese schießt. Somit entstehen zwei finale Fraktionen, die reine VA-Fraktion und die Buntmetallfraktion (Aluminium, Kupfer, Messing). Durch diesen Schritt können höhere Erlöse beim Verkauf der VA-Fraktion erzielt werden, da er in reinerer Form vorliegt. Die Buntmetallfraktion wird als ein Metallgemisch verkauft. Um hier die Erlössituation zu verbessern, müsste dieses Metallgemisch ebenfalls in reine Metallsorten sortiert werden. Hierzu muss das Metallgemisch erneut über den Bunker der Kompaktsortieranlage zugeführt werden (siehe 2.2.6).

### **2.2.6 Detektor zur Erkennung von Metallen**

Mit dem Detektor ist man in der Lage, Metalle in den Schredderleicht- und Schredderschwerfraktionen zu erkennen und gezielt auszusortieren. Außerdem ist es mit dem Detektor möglich zwischen Edelmetallen und Buntmetallen zu unterscheiden. Die Gruppe der Buntmetalle beinhaltet Aluminium, Kupfer und Messing. Ferner können auch einzelne dieser Metalle ausgeblendet werden. Die Sortierergebnisse für diesen Schritt der Ausblendung sind derzeit allerdings noch nicht so optimal, dass sich dieser Aufwand in einem wirtschaftlichen Kosten/Nutzen-Verhältnis bewegt. Der Sensor wird aber bereits weiterentwickelt und mittelfristig wird sich auch dieser Aufbereitungsschritt rechnen.

#### **Detektionsprinzip**

Das innovative an dieser Sortiereinheit ist das Sensorprinzip. Die Sensorik kann in weniger als 1 Millisekunde nicht nur einzelne Stoffe identifizieren, sondern auch deren Lage auf dem Sortierband berechnen. Der Sensor ist um Zehnerpotenzen schneller als übliche Sensoren, die von anderen Sortieranlagenherstellern für die unterschiedlichsten Materialströme genutzt werden. Dadurch können die Objekte auf dem Sortierband dichter beieinander liegen, sie müssen also nicht so stark vereinzelt werden. Das System kann daher mit kürzeren Sortierbändern betrieben werden, die dafür aber umso schneller laufen. Bei dem Sensor spielt es weder eine Rolle, ob die Stoffe feucht oder trocken sind, noch mit welchem Material und mit welcher Farbe sie beschichtet sind. Denn anders als herkömmliche optische Erkennungssysteme identifiziert der Sensor die einzelnen Stoffe unabhängig von der jeweiligen Beleuchtungssituation und unabhängig davon, welche Temperatur die Stoffe haben. Während die herkömmliche Sensorik auf der Basis Ja/Nein-Entscheidung (Null oder Eins) altbekannter träger Nahrungsschalter aufsetzt, wird bei diesem System eine reale Echtzeit-Messung von mehreren Stoffeigenschaften durchgeführt. In einem extrem schnellen Auswertesystem werden die Messergebnisse zur Stoffidentifizierung genutzt. Diese Messung verläuft kontinuierlich, d.h. ohne Unterbrechung. Die bisherigen Sensoren benötigen je Teilerkennung eine Erholzeit von ca. 5 Millisekunden und können bereits prinzipbedingt nicht an die Leistung des hier eingesetzten Messsystems vorstoßen.

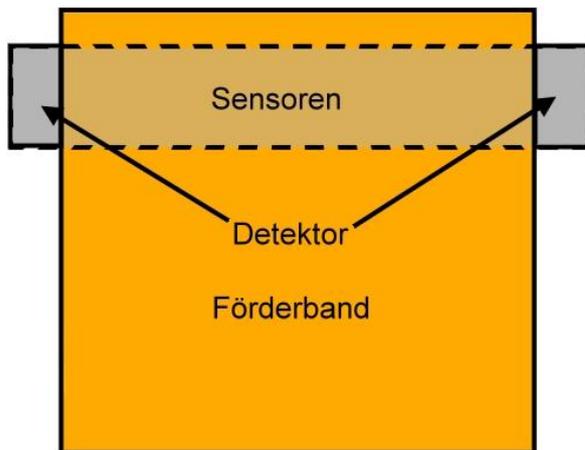
Die Ortsauflösung wurde, gegenüber den herkömmlichen Sensoren, um bis zum 40-fachen verfeinert. Dies führt zu einer höheren Reinheit bei der Austragsfraktion, die notwendig ist, um die feine Schredderleichtfraktion zu verarbeiten.

Der Detektor arbeitet mit elektromagnetischen Feldern und mehreren in einer Fläche angeordneten Induktionsspulen, welche Metallgegenstände durch primäre Magnetpulse anregen. Diese Magnetpulse führen zu längeren Abklingzeiten der Antwortsignale. Dieses Verfahren ist als ein so genanntes Puls-Induktions-Verfahren (PI-Verfahren) bekannt und stellt ein aktives Ortungsverfahren dar. [3]

Im wesentlichen werden kurze Impulse durch Sendespulen (kreisförmig gewickelt) gesendet, welche kurze und sehr intensive Magnetfelder erzeugen. Diese Felder klingen nur langsam ab. Wirbelströme werden erzeugt, indem sich Metalle durch die Magnetfelder hindurchbewegen und somit ein eigenes Feld erzeugen. Werden die Impulse abgeschaltet, gelangen die objekt-eigenen Signale abgeschwächt zu den Empfängerspulen und es entsteht eine Spannung. Genauer gesagt handelt es sich um zwei gegensinnige Wechselfeldspannungen, die induziert werden und sich im Ruhezustand gegenseitig aufheben. Daraus folgen metallspezifische Spektren, welche das System aufnimmt und verarbeitet. Es handelt sich hierbei um exponentiell fallende Echosignale in Abhängigkeit von der Zeit. Mehrere eingebaute Kondensatoren speichern die Differenzen der Spannungswerte, welche zur Lokalisierung und zur Ermittlung der Größe dienen.

Des Weiteren bewirken die Wirbelströme ein metallspezifisches Abklingverhalten, ein so genanntes magnetisches Echo, welches von der Größe und Beschaffenheit des Metallteils abhängig ist. Die Anlage erkennt solche Veränderungen eines Wechselfeldes und sortiert die entsprechend detektierten Metallteile mithilfe der angeschlossenen Sortiereinheit aus.

Der Detektor befindet sich unter dem Förderband und tastet die Fläche über ihm zweidimensional ab, wodurch er Informationen über die Lage, Größe und Form des Metalls erhält. Die Sensoren sind in der gesamten Breite des Förderbandes und in einer definierten Länge im Detektor enthalten. Abbildung 12 verdeutlicht die Lage des Detektors bzw. der Sensoren. Die orange Farbe gibt das Förderband wieder. Der Detektor entspricht der grauen Fläche. Das grau-orange Feld beinhaltet hier die Sensoren. Die hohe Auflösung dieser Sensoren erlaubt eine hohe Genauigkeit.



**Abbildung 12: Schematische Darstellung von Förderband und Detektor**

Nach dem Auswerten der erhaltenen Informationen (Materialart, Lage, Größe und Form) werden über ein Steuerrelais die entsprechenden Druckluftdüsen geöffnet, und zwar so, dass nur das erkannte Teil angeschossen wird. Die Auswertung erfolgt in der Regel über magnetoresistive Sensoren, die die Änderungen der Magnetfelder in elektrische Signale umwandeln.

Zur Einstellung und Optimierung des Sensors können drei Parameter verändert werden:

1. Der Druck, mit dem auf die Metalle geschossen wird.
2. Die Empfindlichkeit zur Erkennung der Metalle.
3. Das vorprogrammierte Schussprogramm, um auf bestimmte Metalle zu schießen.

### **Energieeffiziente Druckluftaufbereitung**

Mit dem Druck kann die Kraft eingestellt werden, mit der die Metallfraktion aussortiert wird. Bei der Schredderschwerfraktion benötigt man einen höheren Druck als bei der Schredderleichtfraktion. Der Druck wird mithilfe eines Kompressors von 22 kW Leistung aufgebaut. Ein zweiter Kompressor mit derselben Leistung steht zur Verfügung, falls der Druckluftverbrauch zu hoch werden sollte. Des Weiteren ist er frequenzgeregelt und beim Standby-Modus anstelle des anderen, absolut geregelten, Kompressors in Betrieb, wodurch eine Energieeinsparung erzielt werden kann. Eine Bauweise mit zwei Kompressoren wurde bei dieser Anlage erstmalig angewandt.

Der Energieverbrauch für die Druckluftaufbereitung ist daher bis zu zwei Drittel geringer als bei den bislang auf dem Markt befindlichen automatischen Sortiersystemen. Dies wird auch durch eine neuartige Ventilansteuerelektronik sowie den Einsatz der beschriebenen neu entwickelten Sensorgeneration erreicht. Die Ventilansteuerelektronik kann den Druckluftausstoß dynamisch steuern, d.h. bei gleich bleibendem Druck (z.B. 10 Bar) wird die Durchflussmenge zwischen minimal 300 Normlitern/min und maximal 900 Normlitern/min geregelt. Herkömmliche Systeme erreichen dies nur durch statisches Reduzieren des Druckes am Druckluftminderer an der Einspeisestelle.

## Empfindlichkeit der Metallerkennung

Die Empfindlichkeit kann in einem Bereich von -32 bis +32 eingestellt werden. Hierbei handelt es sich lediglich um eine von der Fa. WMS Group [4] vorgegebene Skala, dessen physikalischer Hintergrund nur der Firma bekannt ist. Je höher sie eingestellt wird, desto feiner erfolgt das Abtasten und desto mehr und kleinere Metallteile werden erkannt. Jedoch steigt bei einer Erhöhung der Empfindlichkeit die Gefahr des Fehlaustrags, d. h. bei einem hohen Wert wird die Nichtmetallfraktion reiner und bei einem niedrigen das Metallgemisch. Es gilt also, einen Kompromiss zu finden, bei dem beide Fraktionen akzeptable Reinheiten aufweisen und die Mitarbeiter bei der Handsortierung nicht überfordert werden.

## Schussprogramm

Mithilfe der Software ist es, neben den oben genannten Einstellungsmöglichkeiten, möglich, bestimmte Metalltypen gezielt auszusortieren. Sie besitzt 6 voreingestellte Programme, mit denen man bestimmte Materialtypen bzw. –gruppen aussortieren kann. Sie sind in folgende Programmnummern unterteilt:

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 0 | △ | alle Metalle werden aussortiert ( <i>diese Einstellung gilt für den 1. Step</i> )   |
| 1 | △ | nur NE-Metalle werden aussortiert   |
| 2 | △ | nur Eisen und Edelstahl wird aussortiert  |
| 3 | △ | nur Buntmetalle werden aussortiert (kein Edelstahl)   |
| 4 | △ | alle Metalle außer Eisen werden aussortiert   |
| 5 | △ | Edelstahl mit erweitertem Spektrum wird aussortiert, d. h. es werden auch V4A u. ä. Edelmetalle ausgeschossen ( <i>diese Einstellung gilt für die Sortierung auf Edelstahl bei der LSH GmbH</i> ) |

## 2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Nach Inbetriebnahme der modernisierten Schredderanlage im Oktober 2007, die gegenüber der alten Schredderanlage aus dem Jahr 1984 u.a. auch über eine deutlich effektivere Entstaubungsanlage verfügt, haben wir als Betreiber die diversen Outputströme genauestens analysiert. Dabei konnten wir einen relativ großen Anteil an Metallen in der Schredderleichtfraktion feststellen, der sich natürlich abhängig vom Eingangsmaterial des Schredders zeigt. Durch das endgültige Deponieverbot für Schredderleichtfraktion im Jahr 2005 waren wir schon länger mit dem Thema Aufbereitung der SLF, intern oder extern, beschäftigt. Diverse externe Aufbereitungs- und Entsorgungsanlagen wurden besichtigt und intensive Gespräche mit Anlagenbauern hinsichtlich Aufbereitung der SLF innerhalb unserer Produktionskette geführt.

Wichtig war für uns in erster Linie die nahezu komplette Metallausschleusung. Im Ergebnis konnten wir keine zufriedenstellende Lösung auf dem Anbietermarkt finden. Der Kontakt zur WMS-Group [4] und erste Versuche mit Probematerial auf einer Sortieranlage für die Schlackeaufbereitung sahen dann vielversprechend aus. Anfang 2008 haben wir gemeinsam ein erstes Konzept erarbeitet und Komponenten (Bunker, Windsichter etc.) für eine Aufbereitungsanlage ermittelt. Aus diesem Konzept ist Mitte 2008 die Projektskizze für das Vorhaben entstanden und an das BMU im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms eingereicht worden. Nach positiver Rückmeldung, dass unser Vorhaben als innovativ und damit förderfähig angesehen wird, wurde der Förderantrag selbst im Oktober 2008 eingereicht. Mit diversen Nachträgen, die zum ursprünglichen Antrag notwendig wurden und sich bis in den März 2009 hinzogen, erhielten wir im September 2009 die verbindliche Förderzusage.

Die Planungen wurden im Vorfeld bereits parallel weitergeführt, damit nach Förderzusage umgehend mit dem Bau begonnen werden konnte. Dadurch konnten wir bereits im November 2009 die Anlage am Standort in Lübeck installieren und Mitte November in den Probetrieb gehen.

## **2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)**

Der Standort ist in 6 verschiedene Betriebseinheiten aufgeteilt und ist unter anderem auch nach den Nummern 8.9 Sp. 1a und 8.11 Sp. 2b/bb der 4. BImSchV<sup>2</sup> genehmigt. Im Rahmen dieser bestehenden Genehmigungen wurde im September 2009 eine Änderungsanzeige gemäß § 16 BImSchG für die Errichtung und den Betrieb einer Sortieranlage für Schredderrückstände bei der zuständigen Genehmigungsbehörde eingereicht. Am 25.09.2009 wurde der angezeigten Änderung der Anlage zugestimmt.

---

<sup>2</sup> Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Um die Auswirkungen der Kompaktsortieranlage auf die Massenströme und Metallrückgewinnung im Einzelnen zu untersuchen, aber auch um Rückschlüsse für eine Prozessoptimierung ziehen zu können, wurde ein Messprogramm zur Ermittlung entsprechender Daten initiiert. Die Durchführung dieses Messprogramms gliedert sich in zwei Blöcke (Teil A und Teil B):

#### Teil A Massenbilanzen

Nach Inbetriebnahme der Anlage wurden in den ersten zwei Wochen täglich, danach für einen Zeitraum von vier Wochen, wöchentlich folgende Massen bestimmt:

1. Vor Kompaktsortierer:
  - a) SLF-Menge gesamt
  - b) daraus abgetrenntes SLF-Feinkorn (<20mm)
  - c) SLF-Siebüberlauf = Input der Kompaktsortieranlage
  
2. Output des Kompaktsortierers: Ermittlung der Massen aller Outputströme
  - a) metallabgereicherter Reststoff (Output Kompaktsortierer)
  - b) metallabgereicherter Reststoff (Output Windsichter)
  - c) Buntmetallfraktion
  - d) Edelstahlfraktion

Durch Vergleich der Gesamt-Metallverteilung in den Materialströmen 1c) und 2a) bis 2d) wurde die Metallausbeute bestimmt. Hinsichtlich Metallausbeute wurde dabei nur die Höhe der gesamten Metallrückgewinnung berücksichtigt, eine Verteilung auf die Fraktionen Aluminium, Edelstahl und sonstige Buntmetalle erfolgte nicht. Hintergrund für diese Vorgehensweise: Die Höhe der jeweiligen Metallgehalte ist immer abhängig von der Zusammensetzung des Schreddervormaterials und variiert ständig. In der Vergangenheit konnte festgestellt werden, dass die Metalle sich im Jahresmittel etwa zu 40 % auf Aluminium, 40 % Edelstahl und 20 % sonstige Buntmetalle verteilen. Wichtig für die Versuchsdurchführung war vielmehr, dass die grundsätzliche Metallausbeute durch Einsatz der Sortieranlage untersucht wird.

Zusätzlich zu den Massenbilanzen wurde dokumentiert, um welche Art Schreddervormaterial es sich handelte (Mischschrott, Karossen etc.) und örtliche Verhältnisse wie Temperatur, Wetter (Niederschlag etc.) wurden festgehalten. Die Sortierzeit (Betriebsstunden-/minuten) wurde ebenfalls dokumentiert.

## Teil B Metall- bzw. Stoffbilanzen

Um die Metallausbeute und damit das Ressourcenschonungspotential zu quantifizieren sind Gesamtmetallbilanzen und Bilanzen der einzelnen enthaltenen Fraktionen erforderlich. Die Bestimmung des Gesamtmetallgehalts und der einzelnen Metalle sowie die Ableitung der Stoffbilanzen erfolgte zu drei Projektzeitpunkten mittels Auswiegung.

1. Referenz: Vor Beginn des Umbaus, am 19. August 2009
2. Zwischenergebnis: ca. 1 Monat nach Inbetriebnahme
3. Erfolgskontrolle: Nach der Optimierungsphase zum Projektende

Die zu analysierenden Fraktionen sind hierbei identisch zu Teil A, die Dokumentation erfolgte analog.

Zusätzlich zu den oben genannten Metallbilanzen, sind zum Projektende und damit nach der Optimierungsphase (Zeitpunkt 3) insgesamt 5 Parameter (Gold, Silber, Platin, Palladium, Kupfer) in zwei Materialströmen (Unterkorn 0-10 mm und 0-40 mm) bei unterschiedlichem Schredderinput chemisch analysiert worden. Die Festlegung auf diese genannten Parameter begründet sich darin, dass grundsätzlich festgestellt werden sollte, ob Spuren von Edelmetallen in den Stoffströmen aufzufinden sind, die in diversen Bauteilen, die als Schreddervormaterial angenommen werden, enthalten sein können (speziell im Elektro(nik)schrott). Aufgrund ihrer Wertigkeit könnten sich aus den gewonnenen Erkenntnissen zukünftige Ansätze hinsichtlich einer möglichen Rückgewinnung dieser Edelmetalle ergeben.

Die verschiedenen Input-Materialien sind:

- Haushaltsgroßgeräte (Sammelgruppe 1 gemäß ElektroG),
- gemischter Elektronikschrott (Sammelgruppe 5 gemäß ElektroG),
- Mischschrott (typisches Schreddervormaterial) und
- Karosenschrott.

Das Messprogramm war zu Beginn des Projektes umfangreicher vorgesehen. Die chemischen Analysen sollten ursprünglich bei allen 7 Fraktionen

1) vor Kompaktsortierer:

- a) SLF-Menge gesamt
- b) daraus abgetrenntes SLF-Feinkorn (<20mm)
- c) SLF-Siebüberlauf = Input der Kompaktsortieranlage

2) Output des Kompaktsortierers: Ermittlung der Massen aller Outputströme

- a) metallabgereicherter Reststoff (Output Kompaktsortierer)
- b) metallabgereicherter Reststoff (Output Windsichter)
- c) Buntmetallfraktion
- d) Edelstahlfraktion

vorgenommen und entsprechend bewertet werden. Ziel war es Bilanzen des Gesamtmetallgehaltes und der Einzelmetalle zu erstellen, um zu erkennen, in welchen Fraktionen eine Anreicherung und in welchen eine Abreicherung erfolgt. Im Projektverlauf hat sich allerdings herauskristallisiert, dass eine Untersuchung der gewählten Parameter Gold, Silber, Platin, Palladium und Kupfer nur in der Fraktion 2 c und hier auch nur jeweils im Unterkorn 0-10 mm und 0-40 mm sinnvoll erscheint. Die Begründung für diese Abweichung vom ursprünglichen Vorhaben ist folgende:

- Die Durchführung der Analysen erfolgte von der Fa. msb Sampling. Nach Besprechung unseres Vorhabens mit der Firma stellte sich heraus, dass die Probenahme für alle anderen Fraktionen, außer den zwei genannten des Unterkorns, für eine dann erforderliche Probenpräparation (für eine chemische Analyse) verfahrenstechnisch nicht sinnvoll ist und zu keinem repräsentativen Ergebnis führen wird.
- Die Metallausbeute von Aluminium, Edelstahl und Buntmetallen ist Kernpunkt des Kompaktsortierers, ein Leistungsvergleich zu den drei Zeitpunkten hinsichtlich Höhe der Metallrückgewinnung gibt eindeutig Aufschlüsse zu den Optimierungspotenzialen bzw. den durchgeführten Optimierungen. Sind möglicherweise feinste Spuren von Edelmetallen in den verschiedenen Stoffströmen enthalten, ist ihr Anteil so gering, dass sich die drei Zeitpunkte „Referenz, Zwischenergebnis und Erfolgskontrolle“ nicht messbar auf die Ergebnisse auswirken.
- Die Fraktionen 2c) und 2d) bestehen aus Metallstücken mit Größen von 40 bis ca. 150 mm. In diesen Fraktionen finden sich keine Edelmetalle mit solcher Stückigkeit. Aufbauend auf dieser Betrachtungsweise sind lediglich im genannten Unterkorn Spuren von Edelmetallen zu erwarten. Vor diesem Hintergrund haben wir uns auf die machbaren Analysen beschränkt.

### **3.1.1 Teil A Massenbilanzen**

Um zu erfahren, wie effektiv die sensorgestützte Sortierung arbeitet, wurden zunächst zwei grundlegende Untersuchungen durchgeführt:

1. Massenbilanzen der Input- und Output-Fractionen und
2. Bestimmung des Gesamtmetallgehalts der verschiedenen Input- und Output-Fractionen zur Ermittlung der Metallgewinnung bzw. des Metallverlustes.

Diese beiden Untersuchungen wurden an der Schredderschwerfraktion und an der Schredderleichtfraktion durchgeführt. Der Schwerpunkt lag bei der SLF, da mit der neuen Kompaktsortieranlage die Verwertungsquoten und die Eigenschaften zur Entsorgung insbesondere der Schredderleichtfraktion verbessert werden sollten.

In den folgenden Abschnitten 3.1.1.1 und 3.1.1.2 werden die zwei Untersuchungsarten beschrieben, anschließend wird die Auswertung für die Schredderleichtfraktion (3.1.1.3 bis 3.1.1.5) und die Schredderschwerfraktion (3.1.1.6) präsentiert und diskutiert.

#### **3.1.1.1 Massenbilanz Konzeption und Versuchsdurchführung**

Die Massenbilanz dient dazu, die Verteilung des Inputs (Schredderleichtfraktion bzw. Schredderschwerfraktion) auf die einzelnen Output-Stoffströme zu ermitteln. Hierbei wurde eine definierte Input-Masse über den Bunker der Anlage zugeführt und unter die einzelnen Ausgänge (mit Ausnahme des Windsichters) Auffangbehälter gestellt. Der Input wurde mit einem LKW (SLF) oder einem Radlader (SSF) auf der Eingangswaage gewogen, wobei nach jeder Wiegung das Leergewicht bestimmt wurde. Die SLF wurde mittels LKW gewogen, da im Produktionsbetrieb das Förderband 1 der Anlage reversiert und der Siebtrommelaustrag in einem Abrollcontainer gesammelt wurde. Die SSF wurde dagegen mittels Radlader gewogen, da diese Fraktion während des Aufbaus der Sortieranlage auf Halde gelagert wurde und eine Wiegung auf diese Weise schneller durchgeführt werden konnte. Nachdem der definierte Input komplett durch die Anlage gefahren und in den entsprechenden Auffangbehältern gesammelt worden war, wurden die einzelnen Output-Fractionen gewogen. Auch hier bestimmte man danach die Leergewichte der einzelnen Auffangbehälter.

Der Windsichteroutput wurde nicht gesammelt, zum einen weil dies aufgrund der turbulenten Strömungen am Ausgang sehr schwierig gewesen wäre bzw. die Verluste zu groß geworden wären und zum anderen weil dies die einzige unbekannte Größe war und aus der Massendifferenz errechnet werden konnte. Die einzelnen Output-Massen wurden in Relation zum Gesamtinput gesetzt um den prozentualen Anteil des jeweiligen Outputs (Windsichter, Siebunterkorn, Nichtmetall oder Metall) zu erhalten.

Der Metallgehalt der einzelnen Fractionen in Bezug zum gesamten Input wurde durch Multiplikation der Masse jedes einzelnen Outputs (siehe Abschnitt 3.1.1) mit dessen ermittelter Metall-Konzentration bestimmt. Dadurch ist eine Angabe des Metallgehalts nicht nur in kg, sondern auch in Gew.-% möglich.

Zur genaueren Bestimmung des wahren Wertes aus den Stichprobenwerten wurden für die einzelnen Fraktionen die Standardabweichungen (mittlerer Fehler) der jeweiligen Mittelwerte errechnet. Zur Darstellung der einzelnen Endergebnisse wurden die Mittelwerte der jeweiligen Stichproben mit den dazugehörigen Standardabweichungen kombiniert. Im späteren Versuchsablauf wurde allerdings auf die Ermittlung der Standardabweichung verzichtet, da sie für die Ergebnisverwertung vernachlässigbar ist.

### **3.1.1.2 Metallgehaltsbestimmung Versuchsdurchführung**

Zur Bestimmung des Gesamtmetallgehalts der Fraktionen wurde ein grundsätzlich einfaches Verfahren angewandt: die Handsortierung. Bei den Outputs mit kleineren Korngrößen (wie z. B. bei dem Siebunterkorn < 40 mm oder bei dem Windsichteraustrag) erwies sich dieses Verfahren allerdings als relativ aufwändig, aber praktikabel.

#### **Probenahme**

Während des Betriebes wurde unter den zu untersuchenden Output ein Behälter mit einem Volumen von 5 Litern gestellt bzw. gehalten und eine Probe genommen. Hierbei wurde der Behälter immer wieder kurz aus dem Materialstrom genommen und wieder zurückgeführt um verschiedene Abschnitte des Materialstromes zu erreichen. Diese Maßnahme sollte dazu dienen, jeweils eine repräsentative Probe zu erhalten. Nach der Probenahme wurde mithilfe einer Waage das Gesamtgewicht  $m_{\text{gesamt}}$  ermittelt, danach nach der Handsortierung nur der Metallanteil  $m_{\text{Metall}}$ . Daraus entsteht durch das Verhältnis dieser Massen der prozentuale Anteil des Metalls in der untersuchten Fraktion.

#### **Gründe für „Ausreißer“**

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass bei dem Windsichteroutput auch solche Metalle berücksichtigt wurden, die der Windsichter in jedem Fall immer ausbläst. Hierbei handelt es sich um feine und feinste Drähte mit einem Durchmesser von  $\leq 1$  mm, extrem dünne Plättchen mit entsprechender Fläche und andere kleine Teilchen. Diese wurden soweit berücksichtigt, wie es möglich war, sie mit den Fingern zu erfassen.

Es kam auch vor, dass hin und wieder größere Metallteile in die Windsichterfraktion gelangten. Das liegt daran, dass solche Teile aufgrund ihrer Verformungen Hohlräume besitzen, die einen Auftrieb begünstigen. Dies geschieht zufällig, da die Lage eines solchen Metallteils „optimal“ für den Wirbelstrom sein muss, was aber nur selten vorkommt.

Solche „Ausreißer“ von Proben mit relativ hohen Metallanteilen traten auch in den anderen Outputs, vor allem in der Nichtmetallfraktion der Sortiereinheit auf. Hierbei lag es an der teilweisen Unübersichtlichkeit auf den Bändern, z. B. wenn sich ein Metallteil unter mehreren Nichtmetallen befindet, oder an ungeübten Augen eines Mitarbeiters bei der manuellen Sortierung. In den Anhängen sind solche Fälle anhand der Gewichte relativ leicht nachzuvollziehen.

Die Beprobung wurde bei dem Input und folgenden Outputs, jeweils für die Schredderleicht- als auch für die Schredderschwerfraktion vorgenommen:

- Buntmetallfraktion < 40 mm
- metallabgereicherter Reststoff (Output Kompaktsortierer)
- Buntmetallfraktion
- metallabgereicherter Reststoff (Output Windsichter)

Die gewonnenen Metallkonzentrationen dienen als Grundlage für die Ermittlung der gesamten Metallgewinnung bzw. -entfernung. Des Weiteren geben sie Informationen für die Reinheit der jeweiligen Fraktionen.

Es wurden bei jedem Output mehrere Beprobungen durchgeführt und im Anschluss, entsprechend ein Mittelwert gebildet. Dieser Wert gibt den durchschnittlichen Metallgehalt bzw. den Mittelwert des entsprechenden Outputs in Gew.-% wieder.

### 3.1.1.3 Beprobung der Schredderleichtfraktion zum Projektzeitpunkt „Referenz“

Eigene Separier- und Siebversuche mit der Schredderleichtfraktion, die bereits im Vorfeld im Labormaßstab durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass der NE-Metallanteil in der Schredderleichtfraktion (vor der 20 mm Absiebung) im Mittel bei ca. 8 % liegt und schwankend abhängig vom Eingangsmaterial ist. Diese Untersuchungen waren seinerzeit auch der Auslöser sich mit technischen Möglichkeiten hinsichtlich Metallrückgewinnung aus der Schredderleichtfraktion zu beschäftigen. Zum Referenzzeitpunkt (19. August 2009) hat sich dieser Wert bestätigt, immer bezogen auf das Schreddervormaterial „Mischschrott“. Die durchschnittlichen Metallgehalte der verschiedenen Monochargen (Karossen, weiße Ware und E-Schrott) weichen von diesen 8 % ab, wie folgende Tabelle zeigt.

**Tabelle 1: Metallgehalte in der unbehandelten u. abgeseibten SLF zum Referenzzeitpunkt**

Material	Metallgehalt gesamt, bezogen auf die unbehandelte SLF	Metallgehalt bezogen auf die abgeseibte SLF (20 mm Trommelsieb) und Inputmaterial für die Kompaktsortieranlage
Karossenschrott	7,5 Gew.-%	10,6 Gew.-%
Weißer Ware	6,2 Gew.-%	8,8 Gew.-%
Elektro(nik)schrott	11,3 Gew.-%	15,9 Gew.-%
Mischschrott	7,9 Gew.-%	11,1 Gew.-%

Da die Schredderleichtfraktionen zum Referenzzeitpunkt und somit vor Installation der Kompaktsortieranlage auf deren Metallgehalt untersucht wurde, gibt es keine weitere Aufteilung der Massenanteile.

### 3.1.1.4 Beprobung der Schredderleichtfraktion in den ersten Wochen nach dem Umbau als Zwischenergebnis: Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Massenbilanzen und der Beprobung der Schredderleichtfraktion dargestellt. Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf das Zwischenergebnis nach ca. einmonatigem Probebetrieb. Als Schreddervormaterial wurde für Teil A der Ergebnisse Mischschrott eingesetzt. Die Massenverteilung bei unterschiedlichen Monochargeninputs und die Betrachtung weiterer Metalle findet in Teil B der Ergebnisbetrachtung statt. Die verwendeten Werte können den in den Anhängen befindlichen Tabellen entnommen werden.

#### 1. Massenbilanzen für die Schredderleichtfraktion

Die Schredderleichtfraktion für die Massenbilanzen fällt über die Entstaubungsanlage beim Schredderprozess an. Die Zusammensetzung der Schredderleichtfraktion ist somit direkt vom Schreddervormaterial und dessen Zusammensetzung abhängig. Die Verwiegung der Outputströme nach der Behandlung der SLF durch den Kompaktsortierer ergab folgende durchschnittliche Massenverteilung:

**Tabelle 2: Massenverteilung der Outputfraktionen der Kompaktsortieranlage, bezogen auf den SLF-Input (Zeitpunkt Zwischenergebnis)**

Outputfraktion	Massenanteil der Outputfraktion, bezogen auf den SLF-Input und Standardabweichung
Windsichterleichtfraktion	78,1 ± 1,8 Gew.-%
Siebunterkorn < 40 mm	14,3 ± 1,2 Gew.-%
Nichtmetallfraktion	5,4 ± 2,5 Gew.-%
Metallfraktion	2,2 ± 0,4 Gew.-%
Summe	100,0 Gew.-%

Die Windsichter- und Siebunterkornfraktion bilden den größten Gewichtsanteil. Im Gegensatz zur Schredderschwerfraktion, wo beide Fraktionen zusammen über 70 % ausmachen, sind es hier sogar 92,4 Gew.-% des Inputs. Entsprechend gelangen in Step 1 nur etwa 7,6 % des SLF-Inputs in die sensorgestützte Sortierung, in Step 2 dann noch 14,3 % (Unterkorn < 40 mm).

## 2. Metallgehalte der Outputfraktionen nach der Behandlung der SLF

Folgende Metallgehalte wurden bei der Beprobung der Outputfraktionen aus der Behandlung der SLF erfasst:

**Tabelle 3: Metallgehalte der einzelnen Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderleichtfraktion (Zeitpunkt Zwischenergebnis)**

Outputfraktion	Metallgehalt der Fraktion
Windsichterleichtfraktion	1,2 ± 0,3 Gew.-% Metalle
Siebunterkorn < 40 mm	22,0 ± 2,0 Gew.-% Metalle
Nichtmetallfraktion	0,31 ± 0,25 Gew.-% Metalle
Metallfraktion	61,0 ± 4,0 Gew.-% Metalle
<i>Nach Optimierungen an der Beschickung (Dosiertrommel)</i>	82,3 ± 3,5 Gew.-% Metalle

Der Windsichter wurde so eingestellt, dass sich nach Möglichkeit keine Metalle mehr in der Windsichterleichtfraktion befinden. Aus den bereits oben erwähnten Gründen kann aber keine 100%ige Reinheit hergestellt werden. Der Wert ist jedoch mit 1,2 ± 0,3 Gew.-% in einem akzeptablen Bereich, denn unter einer Nichtbeachtung der unvermeidbaren feinsten Metalldrähte bzw. anderer winziger Teile kann der Metallanteil um ca. ein Drittel nach unten korrigiert werden. Unter dieser Voraussetzung kann also ein Metallgehalt von ca. 0,8 Gew.-% angenommen werden. Der Anspruch kleinste Drähte oder Metallplättchen mit einem Sortiervorgang und einer Sortieranlage ausschleusen zu können, die für eine sehr breite Abfallfraktion konzipiert ist, kann mit unserem Vorhaben nicht verfolgt werden.

Wie bei der Behandlung der Schredderschwerfraktion schwanken die Metallgehalte des Siebunterkorns < 40 mm auch bei der Behandlung der Schredderleichtfraktion. Sie liegen zwischen 18 und 27 Gew.-%. Auch hier kann diese Fraktion mit einem zweiten Step separat behandelt und somit auf bestimmte Metalle (Edelstahl) detektiert werden. Auf den zweiten Step wird an dieser Stelle allerdings nicht tiefer eingegangen, da der Metallgehalt im Siebunterkorn < 40 mm bereits bekannt ist. Als Durchschnittswert wurde eine Metallkonzentration von 22,0 ± 2,1 Gew.-% ermittelt.

Im Projektverlauf wurde auch eine weitere Variante hinsichtlich der Bearbeitung der SLF nach dem ersten Stepp getestet. Dabei wird die Metallfraktion nach dem ersten Stepp (Behandlung SLF) gemeinsam mit der Schredderschwerfraktion, wie unter 3.1.1.6 beschrieben, der Sortieranlage zugeführt. Diese Variante kann aus logistischen Gesichtspunkten sinnvoll sein, denn durch die Zusammenführung dieser Fraktionen werden am Standort weniger getrennte Sammelboxen benötigt, was je nach Menge des Materialanfalls sinnvoll sein kann.

Mangelnder Metallgehalt der Metallfraktion vor den Optimierungen: Eine Metallfraktion mit einer Reinheit von  $61 \pm 4,0$  Gew.-% ist von einer ungenügenden Qualität und bedarf einer weiteren Behandlung. Bei Vorversuchen wurden allerdings wesentlich höhere Reinheiten erzielt ( $\geq 80$  Gew.-%), hier musste also Ursachenforschung betrieben werden. Als Gründe für diese geringe Konzentration stellten sich die Flusen und Schaumstoffe, in die sich die Metalle verhakt haben heraus, was auf die Verdichtungen und Verstopfungen im Bunker zurück zu führen war. Es wurden daher diesbezüglich bereits zu diesem Zeitpunkt Optimierungsmaßnahmen durchgeführt (siehe „Optimierung der Dosiertrommel“ unter Ziffer 2.2.3). Nach dieser Maßnahme kam es auf dem Sortierband nicht mehr zu so starken Konzentrierungen von Flusen und Schaumstoffen, der Metallgehalt beträgt im Durchschnitt nun  $82,3 \pm 3,5$  Gew.-%.

### 3. Gesamtmetallgehalt des Inputs und seine Verteilung auf die Outputfraktionen

Um den Gesamtmetallgehalt bezüglich Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion zu ermitteln, wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Massenanteile mit den für die einzelnen Fraktionen ermittelten Metallkonzentrationen (Tabelle 3) multipliziert und diese im Anschluss aufaddiert. Die handsortierten Metalle sind als 100 % rein zu betrachten und wurden entsprechend zusammengefasst. Die handsortierte Nichtmetallfraktion wurde hier nicht weiter berücksichtigt, da sie keine Metalle enthält. Zur Kontrolle dieser Annahme wurde die Nichtmetallfraktion bei zwei Beprobungen nochmals handsortiert.

**Tabelle 4: Gesamtmetallgehalt durch Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion (aus Mischschrott) und Verteilung der Metalle auf die einzelnen Outputfraktionen als Zwischenergebnis**

Outputfraktion	Metallgehalt der Fraktion	Metallinhalt der Outputfraktionen, in Prozent des SLF-Inputs	in der Kompaktsortieranlage zurückgewonnene Metalle
Windsichterfraktion	1,2 Gew.-%	$0,9 \pm 0,3$ Gew.-%	
Siebunterkorn < 40 mm <i>davon im 2. Stepp 87 % gewonnene Metallfraktion</i>	22,0 Gew.-%	$3,1 \pm 0,2$ Gew.-% 2,7 Gew.-%	3,1 Gew.-% 2,7 Gew.-%
Nichtmetallfraktion	0,3 Gew.-%	$0,1 \pm 0,25$ Gew.-%	
Metallfraktion	82,3 Gew.-%	$1,8 \pm 0,4$ Gew.-%	1,8 Gew.-%
<b>Gesamtmetallgehalt des SLF-Inputs</b>		<b><math>5,9 \pm 0,5</math> Gew.-%</b>	<b>4,5 Gew.-%</b>
<b>Metallausbeute</b>			<b>76 %</b>

Bei der Schredderleichtfraktion wurde ein durchschnittlicher Gesamtmetallgehalt von  $5,9 \pm 0,5$  Gew.-% ermittelt.

Das meiste Metall der Schredderleichtfraktion befindet sich im Siebunterkorn  $< 40$  mm. Aufgrund der hohen Metaldichte muss das Volumen entsprechend klein sein, damit es über die Entstaubung in die Schredderleichtfraktion gelangen kann. Die Siebunterkornfraktion  $< 40$  mm mit einem Metallgehalt von durchschnittlich  $3,1 \pm 0,2$  Gew.-% wird in einem zweiten Stepp auf  $< 10$  mm gesiebt und noch einmal sortiert. Dabei ergibt sich eine Metallausbeute, von 87 Gew.-%. Daraus resultiert ein Metallgewinn des Siebunterkorns durch die Sortieranlage von 2,7 Gew.-%. Der verbleibende Metallgehalt in der Fraktion  $< 10$  mm wird gemeinsam mit der  $< 10$  mm Fraktion aus dem Sortiervorgang der Schredderschwerfraktion einer externen Verwertung zugeführt.

Demnach können zum Projekt-Zwischenergebnis von ca. 5,9 Gew.-% Metallinhalt der Schredderleichtfraktion durch die Kompaktsortieranlage 4,5 Gew.-% direkt zurück gewonnen werden. Das ergibt eine Metallausbeute des Kompaktsortierers von ca. 76 %.

#### 4. Metallarme Outputfraktionen

Bei der Behandlung der Schredderleichtfraktion in der Kompaktsortieranlage entstehen folgende metallarme Outputfraktionen zur weiteren Entsorgung mit den jeweiligen Reinheitsgraden (bezogen auf 100% SLF-Input).

**Tabelle 5: Metallarme Outputfraktion nach Behandlung der Schredderleichtfraktion**

Outputfraktion	Massenanteil der Outputfraktion, bezogen auf den SLF-Input, Mittelwert und Standardabweichung	Reinheit
Windsichterfraktion	$79,0 \pm 1,9$ Gew.-%	$> 99,0$ %
Nichtmetallfraktion	$5,4 \pm 2,5$ Gew.-%	$> 99,0$ %

Die Fraktion Siebunterkorn (2. Stepp,  $< 10$  mm) wurde hier nicht berücksichtigt. Wie oben beschrieben, wird dieses Material gemeinsam mit dem Siebunterkorn ( $< 10$ mm) der Schredderschwerfraktion einer externen Verwertung (Metallrückgewinnung) zugeführt.

### 3.1.1.5 Beprobung der Schredderleichtfraktion nach der Optimierungsphase zum Projektende

Die direkte Rückgewinnungsquote von 4,5 Gew.% Metalle aus der SLF von Mischschrott mittels Kompaktsortierer (Ergebnis aus Tabelle 4) konnte im Projektverlauf noch deutlich gesteigert werden. Im Abschnitt 3.1.1.7 „Effizienz der Kompaktsortieranlage“ sind die dazu erforderlich gewesenen Maßnahmen näher erläutert. Nach diesen Optimierungsmaßnahmen hat sich im wesentlichen die Massenverteilung der Outputfraktionen im Vergleich zu den Verteilungen im Zwischenergebnis (Tabelle 2) verändert. Dadurch konnten in den untersuchten Monofractionen gemäß Punkt 3.1.2 Teil B „Metall- bzw. Stoffbilanzen“ höhere Metallrückgewinnungsquoten erzielt werden.

#### 1. Massenbilanzen für die Schredderleichtfraktion

Zum Projektende ergab die Verwiegung der Outputströme für Mischschrott nach der Behandlung der SLF durch den Kompaktsortierer folgende durchschnittliche Massenverteilung:

**Tabelle 6: Massenverteilung der Outputfraktionen der Kompaktsortiereinheit, bezogen auf den SLF-Input zum Projektende**

Outputfraktion	Massenanteil der Outputfraktion, bezogen auf den SLF-Input und Standardabweichung
Windsichterleichtfraktion	67,2 ± 1,8 Gew.-%
Siebunterkorn < 40 mm	19,2 ± 1,2 Gew.-%
Nichtmetallfraktion	7,8 ± 2,5 Gew.-%
Metallfraktion	5,8 ± 0,4 Gew.-%
Summe	100,0 Gew.-%

Die Optimierungsmaßnahmen im Projektverlauf führten dazu, dass die Windsichterleichtfraktion 10,9 Gew.-% verloren hat, die Siebunterkornfraktion hingegen 4,9 Gew.-% gewonnen, ebenfalls hat die Metallfraktion um 3,6 Gew.% zugenommen. Entsprechend gelangen in Step 1 nun 13,6 % des SLF-Inputs in die sensorgestützte Sortierung, in Step 2 dann 19,2 % Siebunterkorn < 40mm.

#### 2. Metallgehalte der Outputfraktionen nach der Behandlung der SLF

Die Metallgehalte der o.g. Outputfraktionen haben sich hingegen nicht stark verändert, bei der Beprobung zum Projektende wurden folgende Daten erfasst:

**Tabelle 7: Metallgehalte der einzelnen Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderleichtfraktion (Zeitpunkt Projektende)**

Outputfraktion	Metallgehalt der Fraktion
Windsichterleichtfraktion	1,0 ± 0,3 Gew.-% Metalle
Siebunterkorn < 40 mm	24,5 ± 2,0 Gew.-% Metalle
Nichtmetallfraktion	0,40 ± 0,25 Gew.-% Metalle
Metallfraktion	85,0 ± 4,0 Gew.-% Metalle

### 3. Gesamtmetallgehalt des Inputs und seine Verteilung auf die Outputfraktionen

Um den Gesamtmetallgehalt bezüglich Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion zu ermitteln, wurden die in Tabelle 6 aufgeführten Massenanteile mit den für die einzelnen Fraktionen ermittelten Metallkonzentrationen (Tabelle 7) multipliziert und diese im Anschluss aufaddiert. Die handsortierten Metalle sind als 100 % rein zu betrachten und wurden entsprechend zusammengefasst. Die handsortierte Nichtmetallfraktion wurde hier nicht weiter berücksichtigt, da sie keine Metalle enthält. Zur Kontrolle dieser Annahme wurde die Nichtmetallfraktion bei zwei Beprobungen nochmals handsortiert.

**Tabelle 8: Gesamtmetallgehalt durch Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion (aus Mischschrott) und Verteilung der Metalle auf die einzelnen Outputfraktionen zum Projektende**

Outputfraktion	Metallgehalt der Fraktion	Metallinhalt der Outputfraktionen, in Prozent des SLF-Inputs	in der Kompaktsortieranlage zurückgewonnene Metalle
Windsichterfraktion	1,0 Gew.-%	0,7 ± 0,3 Gew.-%	
Siebunterkorn < 40 mm <i>davon im 2. Stepp 85 % gewonnene Metallfraktion</i>	24,5 Gew.-%	4,7 ± 0,2 Gew.-% 4,0 Gew.-%	4,7 Gew.-% 4,0 Gew.-%
Nichtmetallfraktion	0,40 Gew.-%	0,3 ± 0,25 Gew.-%	
Metallfraktion	85,0 Gew.-%	4,9 ± 0,4 Gew.-%	4,9 Gew.-%
<b>Gesamtmetallgehalt des SLF-Inputs</b>		<b>10,6 ± 0,5 Gew.-%</b>	<b>8,9 Gew.-%</b>
<b>Metallausbeute</b>			<b>84 %</b>

Bei der Schredderleichtfraktion wurde zum Projektende durch Rückgewinnung der Metalle mittels Kompaktsortierer in dieser Versuchsreihe ein durchschnittlicher Gesamtmetallgehalt von 10,6 Gew.% ermittelt. Diese Größenordnung passt zu den Referenzmessungen vor Beginn des Umbaus, dort wurden in der Schredderleichtfraktion von Mischschrott 11,1 Gew.-% Metalle bilanziert. Somit sind die Optimierungen an der Kompaktsortieranlage, die zum Projektende zu einer deutlich höheren Metallrückgewinnung führt, eindeutig nachgewiesen. Die Abweichungen sind in Anbetracht des untersuchten Materialgefüges vernachlässigbar. Entscheidender ist die Zunahme der Metallausbeute durch den Sortierer von 76 % auf 84 %.

Wie bereits im Zwischenergebnis berichtet, wird das Siebunterkorn < 40 mm in einem zweiten Step auf < 10 mm gesiebt und noch einmal sortiert. Dabei ergibt sich nun eine Metallausbeute von 85 Gew.-%. Daraus resultiert ein Metallgewinn des Siebunterkorns durch die Sortieranlage von 4,0 Gew.-%. Der noch verbleibende Metallgehalt in der Fraktion < 10mm wurde auch hier nicht weiter berücksichtigt.

#### 4. Metallarme Outputfraktionen

Bei der Behandlung der Schredderleichtfraktion in der Kompaktsortieranlage entstehen folgende metallarme Outputfraktionen zur weiteren Entsorgung mit den jeweiligen Reinheitsgraden (bezogen auf 100% SLF-Input).

**Tabelle 9: Metallarme Outputfraktion nach Behandlung der Schredderleichtfraktion**

Outputfraktion	Massenanteil der Outputfraktion, bezogen auf den SLF-Input, Mittelwert und Standardabweichung	Reinheit
Windsichterfraktion	67,2 ± 1,8 Gew.-%	> 99,0 %
Nichtmetallfraktion	7,8 ± 2,5 Gew.-%	> 99,0 %

Die Fraktion Siebunterkorn (2. Step, < 10mm) wurde hier nicht berücksichtigt. Wie bereits beschrieben, wird dieses Material gemeinsam mit dem Siebunterkorn (<10mm) der Schredderschwerfraktion einer externen Verwertung zugeführt.

#### 3.1.1.6 Beprobung der Schredderschwerfraktion: Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Massenbilanzen und der Beprobung der Schredderschwerfraktion präsentiert. Die verwendeten Werte können den in den Anhängen befindlichen Tabellen entnommen werden.

## 1. Massenbilanzen für die Schredderschwerfraktion

Die durchgeführten Massenbilanzen dienen zur Ermittlung von Massenverteilungen und des gesamten Metallgehalts eines Aufgabeguts. Des Weiteren konnte durch die Aufgabe eines definierten Inputs der Massenstrom der Anlage ermittelt werden, indem die Zeiten eines Durchgangs gestoppt wurden. Folgend werden die Ergebnisse der Bilanzen dargestellt.

Die Verwiegung der Outputströme nach der Sortierung der Schredderschwerfraktion ergab folgende durchschnittliche Massenverteilungen bezogen auf 100 Gew.-%

**Tabelle 10: Massenverteilung der Schredderschwerfraktion auf die einzelnen Outputfraktionen**

<b>Outputfraktionen</b>	Massenanteil der Outputfraktion, bezogen auf den SSF-Input, Mittelwert und Standardabweichung
Windsichterleichtfraktion:	36,0 ± 2,4 Gew.-%
Siebunterkorn < 40 mm:	35,5 ± 1,5 Gew.-%
Nichtmetallfraktion:	15,2 ± 1,6 Gew.-%
Metallfraktion (nicht handsortiert):	11,2 ± 1,5 Gew.-%
Nichtmetall, handsortiert:	1,0 ± 0,4 Gew.-%
Metall (VA), handsortiert:	0,8 ± 0,3 Gew.-%
Kupfer, handsortiert:	0,2 ± 0,1 Gew.-%
Messing, handsortiert	0,1 ± 0,1 Gew.-%
<u>Summe:</u>	100,0 Gew.-%

Anhand dieser Ergebnisse ist ersichtlich, dass die größten Mengenanteile in der Windsichterfraktion und im Siebunterkorn < 40 mm anfallen und über 70 Gew.-% der Schredderschwerfraktion ausmachen. Circa 25 % des Inputs gelangt in die sensorgestützte Sortierung und teilt sich auf in die Metall- und Nichtmetallfraktion. Aus der Metall-Fraktion des Sortierers wurden die handsortierten Fraktionen zusätzlich zwecks Sortenreinheit aussortiert. Ob diese Handsortierung an dieser Stelle eine dauerhafte Ergänzung ist oder nicht, hängt auch von den aktuellen und sich ständig wechselnden Verkaufserlösen der einzelnen Metallfraktionen ab. Es kann daher auch durchaus wirtschaftlich sinnvoller sein die Handsortierung an dieser Stelle zu unterlassen und die gesamte Metallfraktion als entsprechendes Metallgemisch zu veräußern.

## 2. Metallgehalte der Outputfraktionen nach der Behandlung der SSF

Die Beprobungen der Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderschwerfraktion ergaben im Durchschnitt folgende Metallgehalte:

**Tabelle 11: Metallgehalte der einzelnen Outputfraktionen aus der Behandlung der Schredderschwerfraktion**

<b>Outputfraktion</b>	<b>Metallgehalt der Fraktion</b>	
Windsichterleichtfraktion:	0,6 ± 0,8	Gew.-% Metalle
Siebunterkorn < 40 mm:	20,3 ± 5,2	Gew.-% Metalle
Nichtmetallfraktion:	0,7 ± 0,4	Gew.-% Metalle
Metallfraktion	99,0 ± 0,4	Gew.-% Metalle

Das Siebunterkorn < 40 mm beinhaltet im Schnitt  $20,3 \pm 5,2$  Gew.-% Metalle. Bei einer Betrachtung der einzelnen Stichproben, ist zu erkennen, dass sich der Metallgehalt in Abhängigkeit vom Schreddervormaterial zwischen 15 und 30 Gew.-% bewegt. Bei der Zugabe von Altfahrzeugen sinkt der Metallgehalt der SSF und bei Chargen mit sehr geringer Verunreinigung steigt er an.

Die Verunreinigung des Nichtmetallgemischs mit  $0,7 \pm 0,4$  Gew.-% Metalle beinhaltet hauptsächlich stark verkrümmte Drähte bzw. Stäbe sowie rundlich geformte Teile, die während der Handklaubung übersehen wurden. Warum solche Teile nicht von der sensorgestützten Sortierung erfasst wurden, ist bereits in Kapitel 2.2.5 ausführlich erläutert worden. Eine mögliche Erklärung, warum solche Metalle nicht von den Mitarbeitern aussortiert werden, ist eine kurzzeitig hohe Unübersichtlichkeit auf dem Förderband, welche durch zeitweise große Massenströme hervorgerufen wird. Diese können immer dann entstehen, wenn im Bunker ein größerer Teil der Charge nachfällt, die Dosiertrommel mehr Material mit ihren Schaufeln mitnimmt und somit mehr am Ausgang ankommt. Die Verunreinigungen liegen bei der Mehrheit der Messwerte unter 1 Gew.-%, weshalb man davon ausgehen kann, dass sich der Metallgehalt der Nichtmetallfraktion unter diese Grenze einpendelt. Daraus folgt eine Reinheit der Nichtmetallfraktion von > 99 Gew.-%.

Eine > 99 Gew.-%ige Reinheit der Metallfraktion ist ein akzeptabler Wert. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei entsprechend geschulten und aufmerksamen Personal die Verunreinigung in dieser Fraktion deutlich unter 1,0 Gew.-% gehalten wird. Ferner gilt zu beachten, dass dieses Metallgemisch geringe Anteile an Buntmetalle besitzt. Zur Gewinnung einer reinen VA-Fraktion kann diese Fraktion noch einmal mit entsprechendem Sortierprogramm behandelt werden. Dieser Aufbereitungsschritt und seine Wirtschaftlichkeit wird aber immer von der jeweiligen Erlössituation der Metalle abhängig sein.

### 3. Gesamtmetallgehalt des Inputs und seine Verteilung auf die Outputfraktionen

Der Gesamtmetallgehalt wurde analog zur Schredderleichtfraktion ermittelt (siehe Abschnitt 3 im vorigen Kapitel).

**Tabelle 12: Gesamtmetallgehalt des Schredderschwerfraktions-Inputs und Verteilung der Metalle auf die einzelnen Outputfraktionen**

Outputfraktion	Metallgehalt der Fraktion (Mittelwert)	Metallinhalt der Outputfraktionen, in Prozent des SSF-Inputs	in der Kompaktsortieranlage zurückgewonnen Metalle
Windsichterleichtfraktion	0,6 Gew.-%	0,1 ± 0,1 Gew.-%	
Siebunterkorn < 40 mm <i>davon Metallfraktion (nach 2. Step mit 85 % Ausbeute)</i>	20,3 Gew.-%	7,2 ± 0,3 Gew.-% 6,2 Gew.-%	6,2 Gew.-%
Nichtmetallfraktion	0,7 Gew.-%	0,1 ± 0,4 Gew.-%	
Metallfraktion	99 Gew.-%	11,7 ± 0,2 Gew.-%	11,7 Gew.-%
Metall, Kupfer, Messing, handsortiert	100 Gew.-%	1,2 ± 0,4 Gew.-%	1,2 Gew.-%
<b>Gesamtmetallgehalt des SSF-Inputs</b>		<b>20,3 ± 0,1 Gew.-%</b>	<b>19,1 Gew.-%</b>
<b>Metallausbeute</b>			<b>94,1 %</b>

Die Schredderschwerfraktion beinhaltet somit im Durchschnitt  $20,3 \pm 0,1$  Gew.-% Metalle. Davon werden  $12,9 \pm 0,1$  Gew.-% direkt gewonnen (Metallfraktion) und  $0,2 \pm 0,4$  Gew.-% gehen verloren (Windsichter- und Nichtmetallfraktion). Die Siebunterkornfraktion < 40 mm mit durchschnittlich  $7,2 \pm 0,30$  Gew.-% wird in einem zweiten Step auf < 10 mm gesiebt und noch einmal sortiert. Dabei ergibt sich eine Metallausbeute von 85 Gew.-%. Daraus resultiert ein weiterer Metallgewinn von 6,15 Gew.-%. Demnach können von ca. 20 Gew.-% des Inputs in etwa 19 Gew.-% Metall gewonnen werden, was einer Ausbeute aus dem SSF-Input von 94,1 % entspricht. 1 Gew.-% Metalle wird nicht erfasst.

### 4. Metallarme Outputfraktionen

Für die Entsorgung der nahezu metallfreien Outputfraktionen entstehen, ohne Berücksichtigung des Siebunterkorns, die in nachfolgender Tabelle dargestellten Fraktionen bezogen auf 100 Gew.-% Input. Das Siebunterkorn wird in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt, da nach dem zweiten Step (Siebunterkorn < 40 mm als Input für den Kompaktsortierer) eine Fraktion von < 10 mm verbleibt, die mit der Sortieranlage nicht nochmals bearbeitet wird. Diese Fraktion wird einer externen Verwertung zugeführt, der Metall- und Nichtmetallgehalt dieser Fraktion ist daher nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

**Tabelle 13: Metallarme Outputfraktion nach Behandlung der Schredderschwerfraktion**

Outputfraktion	Massenanteil der Outputfraktion bezogen auf den SSF-Input, Mittelwert und Standardabweichung	Anteil Nichtmetallgehalt
Windsichterleichtfraktion	36,0 ± 2,4 Gew.-%	99 %
Nichtmetallfraktion	15,2 ± 1,5 Gew.-%	99 %
Nichtmetall (handsortiert)	1,0 ± 0,4 Gew.-%	100 %
Summe	48,2 ± 0,6 Gew.-%	

### 3.1.1.7 Durchschnittlicher Durchsatz für Schredderschwer- und Schredderleichtfraktion

Zur Ermittlung der Durchsatzleistung wurde die Schredder-Zeit (netto) festgehalten und das Messinstrument zur Ermittlung der Massen (Waage) zu Beginn der Messreihe auf „Null“ zurückgesetzt.

Im Anhang 12 sind die Inputmengen der jeweils untersuchten SLF- und SFF-Chargen aufgelistet inklusive der Dauer der benötigten Durchlaufzeit durch die Sortieranlage.

Folgende Durchsätze konnten dabei im Durchschnitt ermittelt werden:

Shredderschwerfraktion:      4,8 ± 0,2      [t/h]

Shredderleichtfraktion:      3,2 ± 0,1      [t/h]

Bei diesen Mengenangaben ist zu beachten, dass es sich nur um die Durchsatzmengen des Kompaktsortierers handelt und nicht um die Eingangsmenge in die gesamte Anlage. Ein Großteil der Inputmenge wird über die Einheiten Windsichter und Siebeinheit verarbeitet.

### 3.1.1.8 Effizienz der Kompaktsortieranlage

Die Effizienz der Kompaktsortieranlage sollte zu drei verschiedenen Projektzeitpunkten verifiziert werden.

1. Vor Beginn des Umbaus
2. ca. einen Monat nach Inbetriebnahme
3. nach Optimierungsphase zum Projektende

Das Ziel dieser Effizienzkontrolle bezog sich auf die Sortierleistung der Anlage und der einzelnen damit verbundenen Komponenten (Bunker, Windsichter, Sieb, Förderbänder). Die Messungen der SLF in Teil A bezogen sich auf das Schreddervormaterial „Mischschrott“. Die oben genannten Zeitpunkte zur Effizienzkontrolle wurden daher ebenfalls auf üblichen

Mischschrott als Eingangsmaterial des Schredders (Schreddervormaterial) beschränkt. Das Schreddern von Monochargen ist im Hinblick auf den Zustrom im Wareneingang und der damit verbundenen Lagerhaltung für Schredderbetreiber unüblich und für die Betriebsweise eines Schredders und damit Verschleiß der Anlagenteile auch nicht sinnvoll.

Allerdings war es dennoch ein Ziel die Metallausbeute der Schredderleichtfraktion auch bei bestimmten Monochargen zu untersuchen. Vor dem Hintergrund der Quotenerfüllung gemäß Altfahrzeug-Verordnung (Anhang 3.2.4.1) und Elektro- und Elektronikgerätegesetz (§ 12) sind hier die Erkenntnisse für eine Bestimmung der Verwertungsquote entscheidend.

Ein ganz wesentlicher Aspekt, der zur Effizienz der Sortieranlage beiträgt, ist im Bedienungspersonal zu sehen. Hier konnten in der Projektphase tatsächlich erhebliche unterschiedliche Sortierleistungen im Hinblick auf sorgfältige Anlagensteuerung festgestellt werden. Die Ursache bzw. Erklärung liegt hier u.a. bei:

- ständig wechselnder Zusammensetzung des Schreddervormaterials
- wetterabhängige Veränderung (trocken, feucht, naß) des Schreddervormaterials

Diese Faktoren müssen bei der Anlagensteuerung berücksichtigt und ständig überwacht und angepasst werden. Optimierungen erfolgten u.a. durch:

- Veränderungen der Ventilatorleistung im Windsichter
- Veränderung der Bandgeschwindigkeit im Bunker
- Veränderung der Materialförderung im Windsichter (Winkelstellung der Trennbleche)
- sauber halten der Siebeinrichtung und Trennkante im Kompaktsortierer

Die Höhe der Metallausbeute durch den Kompaktsortierer unterliegt somit einer Vielzahl von Einflussfaktoren, die schwierig abhängig voneinander vergleichbar sind. Sie wurde für die SLF zu drei Zeitpunkten bestimmt und in nachfolgender Tabelle zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst.

**Tabelle 14: Gewonnener Gesamtmetallgehalt aus der SLF zu drei Projektzeitpunkten**

Zeitpunkt	Gesamtmetallgehalt des Inputs: SLF	in der Kompaktsortieranlage zurückgewonnene Metalle
vor Beginn des Umbaus am 19.08.2009		Keine Metallrückgewinnung, die SLF wurde ohne Bearbeitung entsorgt.
ca. einen Monat nach Inbetriebnahme am 03.12.2009		4,5 Gew.-%
nach Optimierungsphase zum Projektende am 09.09.2010		8,9 Gew.-% (siehe Ergebnisse unter 3.1.1.5)

Die deutlich verbesserte Rückgewinnung von Metallen zum Projektende lässt sich durch die oben genannten Faktoren erklären und hat sich durch weitere Kontrollverwiegungen, die auch nach Beendigung dieses Projektes von Zeit zu Zeit durchgeführt werden, bestätigt. Ab Juni/Juli 2010 wurden die Auswertungen zu nachfolgend beschriebenen Fraktionen durchgeführt.

### **3.1.2 Teil B Metall- bzw. Stoffbilanzen**

#### **3.1.2.1 Metall- und Stoffbilanzen verschiedener Chargen**

Die weitergehende Untersuchung am Projektende nach der Optimierungsphase erfolgte an verschiedenen Schredderleichtfraktionen, die bei der Verarbeitung von vier Mono-Chargen Schreddervormaterial anfallen.

- 1. Karossen**
- 2. Weiße Ware**
- 3. E-Schrott**
- 4. Mischschrott**

Die In- und Outputströme waren:

OUTPUTSTRÖME 1. Stepp (> 40 mm) (siehe auch Abbildung 1)

A – SLF Absiebung < 20mm (*eine Fraktion, die noch vor der Sortieranlage anfällt und separat erfasst, aber im Projektverlauf nicht weiter betrachtet wurde*)

B – SLF Überlauf / Input Sortierer > 20mm

C – Kompaktsortierer Absiebung < 40mm (=Input Step 2)

D – Kompaktsortierer Reststofffraktion

E – Kompaktsortierer Metallfraktion

F – Windsichter Reststofffraktion (metallarm)

OUTPUTSTRÖME 2. Stepp (< 40mm) (siehe auch Abbildung 1)

G – Kompaktsortierer Absiebung < 10mm

H – Kompaktsortierer Reststofffraktion (0–40 mm)

I – Kompaktsortierer Metallfraktion (0-40 mm)

J – Windsichter Reststofffraktion (0-40 mm)

Die vier Mono-Chargen Schreddervormaterial wurden über mehrere Tage gesammelt, so das ausreichend Input (ca. 2-3 Tonnen) des jeweiligen Materials für 4 – 5 Durchläufe zur Ermittlung der Massenverteilung zur Verfügung stand.

Wie unter Ziffer 3.1.1.8 beschrieben, ist die Sortierleistung des Kompaktsortierers von vielen äußeren Faktoren abhängig, die einen Vergleich der jeweils erzielten Ergebnisse schwer zulassen. Eine Aufkonzentration von Metallen in den Materialströmen des Sortierers findet nur auf der Outputseite statt. Hierbei kann die Bestimmung der Gehalte in allen Fraktionen außer in der Fraktion „G-Kompaktsortierer Absiebung < 10 mm und I-Kompaktsortierer Metallfraktion (0-40 mm)“ mittels Sortieren und Auswiegen vorgenommen werden. Metallgehalte dieser Fraktionen müssen einer chemischen Analytik zugeführt werden. Die erzielten Metallgehalte werden zur besseren Übersicht in einer Tabelle dargestellt. In der Tabelle wird noch unterschieden, welche Metallgehalte direkt mit dem Kompaktsortierer gewonnen werden und welche Metallgehalte in den Fraktionen zwar enthalten (Bezeichnung: Metall in Restfraktion), aber nicht direkt ausgeschleust werden können. (Bestimmung nur durch chemische Analytik)

Der Outputstrom „C“ musste dabei für jedes der vier Input-Produkte separat aufbewahrt werden, da diese Fraktion in einem 2. Stepp noch einmal mit dem Kompaktsortierer bearbeitet wurde. Aus diesem Verarbeitungsprozess wurden die Fraktionen „**G – Kompaktsortierer**

**Absiebung < 10mm“** und **„I – Kompaktsortierer Metallfraktion“** hinsichtlich Bestimmung der Metallgehalte der Parameter Gold, Silber, Platin, Palladium und Kupfer einer chemischen Analyse unterzogen. Warum diese Fraktionen zur weiteren Bestimmung ausgewählt wurden, ergibt sich aus den Erläuterungen auf den Seiten 28 und 29.

**Tabelle 15: Im Messprogramm Teil B untersuchte Metalle**

zu analysierende Parameter im Output	Bemerkungen zur Relevanz des Metalls im Schredder	Bestimmung der Gehalte erfolgt durch
1. Eisen	Hauptprodukt des Schredderns ist Schredderschrott	Sortieren und Auswiegen
2. Edelstahl	Hauptzielfraktion der Aufbereitung durch den Kompaktsortierer	Sortieren und Auswiegen
3. Aluminium	Hauptzielfraktion bei der Aufbereitung durch den Kompaktsortierer	Sortieren und Auswiegen
4. Kupfer	Wichtiger Bestandteil im Schredderinput (z.B. in Kabeln, Elektrobauteilen). In den hier relevanten Fraktionen von der Kompaktsortieranlage nicht zu erfassen.	durch chemische Analytik
5. Silber	Edelmetalle in sehr geringen Mengen im Schredderinput (Elektro(nik)geräte) vorhanden. Mittels Kompaktsortieranlage nicht zu erfassen.	chemische Analytik
6. Gold	Edelmetalle in sehr geringen Mengen vorhanden und mittels Kompaktsortieranlage nicht zu erfassen.	durch chemische Analytik
7. Palladium	Edelmetalle in sehr geringen Mengen vorhanden und mittels Kompaktsortieranlage nicht zu erfassen.	durch chemische Analytik
8. Platin	Edelmetalle in sehr geringen Mengen vorhanden und mittels Kompaktsortieranlage nicht zu erfassen.	durch chemische Analytik

### 3.1.2.1.1 Ergebnisse: Metallausbringungen gesamt aus SLF verschiedener Input-Materialien

Die Darstellungen der Einzelergebnisse sind ab Anhang 13 dargestellt. Sie werden hier zusammengefasst und erläutert:

**Tabelle 16: Karossen (Messzeitpunkt zum Projektende)**

Material	Metallgehalt, gesamt (bezogen auf SLF-Input)	Ausbringung Metall (Fraktionen „E und I“)	Metall in der Fraktion „G“	Metall in den Fraktionen „D, F, H und J“)
Karossen 1	8,4%	6,5%	1,10%	0,8%
Karossen 2	12,5%	9,2%	2,15%	1,1%
Karossen 3	9,8%	7,4%	1,63%	0,8%
Karossen 4	10,3%	7,8%	1,90%	0,6%
Karossen 5	11,8%	9,1%	2,03%	0,8%
<b>Durchschnitt</b>	<b>10,6%</b>	<b>8,0%</b>	<b>1,76%</b>	<b>0,8%</b>

Für die untersuchten Karossenbeprobungen ergab sich ein durchschnittlicher Gesamt-Metallgehalt von 10,6% (bezogen auf den Gesamt-Input) in der Schredderleichtfraktion. Davon konnten mittels der eingesetzten Sortiertechnik durchschnittlich 8% der Metalle (wiederum bezogen auf den Gesamt-Input der SLF, also vor der 20 mm Absiebung) separiert und zurück gewonnen werden. Die restlichen Metalle müssen demnach in den Fraktionen D, F, G, H und J zu finden sein. Im Abschnitt 3.1.1 wurde festgestellt, dass die Restmetallgehalte in den Fraktionen D, F, H und J in der Summe bei maximal 1 % liegen. Auf die Ermittlung der jeweiligen Mengenverteilung (auf die Fraktionen D, F, H und J) wurde verzichtet, der Wert wurde rechnerisch ermittelt. Erwartungsgemäß hat sich der größere Anteil an Restmetallen in der Fraktion G (< 10 mm) gefunden. Diese Fraktion wird allerdings, wie bereits beschrieben, mit der Kompaktortieranlage nicht weiter behandelt, der ermittelte Wert dient daher als Kontrolle.

**Tabelle 17: Weiße Ware**

Material	Metallgehalt, gesamt (bezogen auf den SLF-Input)	Ausbringung Metall (Fraktionen „E und I“)	Metall in der Fraktion „G“	Metall in den Fraktionen „D, F, H und J“)
Weißer Ware 1	10,1%	6,5%	2,60%	0,9%
Weißer Ware 2	7,6%	4,4%	1,95%	1,3%
Weißer Ware 3	8,4%	6,3%	1,50%	0,6%
Weißer Ware 4	9,0%	6,1%	1,94%	0,9%
<b>Durchschnitt</b>	<b>8,8%</b>	<b>5,9%</b>	<b>2,00%</b>	<b>0,9%</b>

Für die untersuchten Beprobungen der Schredderleichtfraktion der Weißen Ware ergab sich ein durchschnittlicher Gesamt-Metallgehalt von 8,8% (bezogen auf den Gesamt-Input) in der Schredderleichtfraktion. Davon konnten mittels der eingesetzten Sortiertechnik durchschnittlich 5,9% der Metalle (wiederum bezogen auf den Gesamt-Input der SLF) separiert und zurückgewonnen werden. Für die anderen Fraktionen gilt ebenfalls die obige Erläuterung.

**Tabelle 18: Elektronikschrott**

Material	Metallgehalt, gesamt (bezogen auf den SLF-Input)	Ausbringung Metall (Fraktionen „E und I“)	Metall in der Fraktion „G“	Metall in den Fraktionen „D, F,G, H und J“)
E-Schrott 1	13,3%	8,9%	3,81%	0,6%
E-Schrott 2	18,5%	15,6%	2,25%	0,8%
E-Schrott 3	15,6%	11,3%	3,45%	0,9%
E-Schrott 4	16,3%	12,9%	2,56%	0,8%
<b>Durchschnitt</b>	<b>15,9%</b>	<b>12,2%</b>	<b>3,02</b>	<b>0,8%</b>

Für die untersuchten Elektronikschrottbeprobungen ergab sich ein durchschnittlicher Gesamt-Metallgehalt von 15,9% (bezogen auf den Gesamt-Input) in der Schredderleichtfraktion. Davon konnten mittels der eingesetzten Sortiertechnik durchschnittlich 12,2% der Metalle (auch hier bezogen auf den Gesamt-Input) separiert und zurückgewonnen werden. Der gegenüber dem Schreddervormaterial „Karossen und Weiße Ware“ größere Metallgehalt von 3,8% in den Fraktionen D, F, G, H und J lässt sich dadurch erklären, dass Elektronikschrott als Monocharge in der Schredderanlage „feiner“ zerkleinert wird (als Karossenschrott, Mischschrott oder weiße Ware) und damit im Output zu einer kleineren Korngrößenverteilung führt.

**Tabelle 19: Mischschrott**

Material	Metallgehalt, gesamt (bezogen auf den SLF-Input)	Ausbringung Metall (Fraktionen „E und I“)	Metall in der Fraktion „G“	Metall in den Fraktionen „D, F, H und J“)
Mischschrott 1	11,9%	9,6%	1,40%	0,9%
Mischschrott 2	10,3 %	8,2%	1,35%	0,8%
Mischschrott 3	12,1%	8,6%	2,61%	0,9%
Mischschrott 4	11,2%	8,3%	2,04%	0,9%
Mischschrott 5	9,8%	7,0%	1,90%	0,9%
<b>Durchschnitt</b>	<b>11,1%</b>	<b>8,3%</b>	<b>1,86%</b>	<b>0,9%</b>

Für die untersuchten Beprobungen der Schredderleichtfraktion im Mischschrott ergab sich ein durchschnittlicher Gesamt-Metallgehalt von 11,1% (bezogen auf den Gesamt-Input) in der Schredderleichtfraktion. Davon konnten mittels der eingesetzten Sortiertechnik durchschnittlich 8,3% der Metalle (wiederum bezogen auf den Gesamt-Input) separiert und zurückgewonnen werden. Für die 2,7 % Metalle in den Fraktionen D, F, G, H und J gilt selbige Erläuterung wie bei den Fraktionen Karossen und weißer Ware.

### **3.1.2.2 Vorgehen zur Probenahme für die Bestimmung der Einzelmetalle Kupfer, Silber Gold, Palladium und Platin aus Tabelle 15**

Edelmetalle, die ggf. in den diversen Schreddervormaterialien enthalten sind und nach dem Schredderprozess über die Entstaubungsanlage in die Schredderleichtfraktion gelangen, werden sich nach der Bearbeitung der SLF in der Kompaktsortieranlage im Outputstrom „G Absiebung < 10 mm und der I - Metallfraktion <40 mm“ aufkonzentrieren und zu finden sein, siehe Erklärung dazu unter 3.1.

#### **Probenahme**

Von den vier bzw. fünf einzelnen Materialproben je Monocharge (Tabellen 16 bis 19) der Outputströme G und I wurden wiederum Mischproben mit einem Umfang von ca. 400 bis 800 g für eine chemische Analyse erstellt. Hinsichtlich der bereits beschriebenen Thematik „Verwertungsquote“ nach der AltfahrzeugV bzw. dem ElektroG und der daraus resultierenden Relevanz einer weiteren Metallrückgewinnung aus der SLF von Karosenschrott und Haushaltsgroßgeräten haben wir hier den Schwerpunkt der Analysen gesetzt. Beim Schreddervormaterial „E-Schrott und Mischschrott“ haben wir uns hingegen nur auf den Outputstrom G Absiebung <10 mm beschränkt.

Im Ergebnis standen folgende Proben zur Verfügung:

Schreddervormaterial:	Karossenschrott
Muster:	K05G (Outputstrom G Absiebung < 10mm) K05I, K08I, K12I (Outputstrom I Metallfraktion < 40 mm)
Schreddervormaterial:	Haushaltsgroßgeräte (weiße Ware)
Muster:	W07G (Outputstrom G Absiebung < 10mm) W09I (Outputstrom I Metallfraktion < 40 mm)
Schreddervormaterial:	E-Schrott
Muster:	E04G (Outputstrom G Absiebung < 10mm)
Schreddervormaterial:	Mischschrott
Muster:	M01G (Outputstrom G Absiebung < 10mm)

### **3.1.2.3 Analytik**

Die Analytik wurde von der Firma „msb\_sampling“ aus D-21272 Egestorf durchgeführt. Herr Dipl.-Ing. Michael Bernhardt ist öffentlich bestellter und vereidigter Probenehmer für Erze, Metalle und Hüttenerzeugnisse. Die Analyse erfolgte mittels Ausschmelzen von Metallen und anschließender Atomemissionsspektrometrie (Dokimasie-abgekürztes Verfahren/ICP-OES Endbestimmung). Die Präparation der Proben erfolgte durch Schmelzen, Versteinen, Mahlen und Sieben.

#### **3.1.2.3.1 Ergebnisse: Einzelmetallanalytik Kupfer und Edelmetalle in zwei Outputfraktionen**

Die folgende Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse für die Gehalte an Kupfer und Edelmetallen in den Output-Fractionen

- G – Kompaktsortierer Absiebung < 10 mm und
- I – Kompaktsortierer Metallfraktion < 40 mm

welche mittels Analytik von metallurgisch aufbereiteten Metallproben (siehe Abschnitt 3.1.2.2) bestimmt wurden. Es wurden Proben aus der Aufbereitung von SLF verschiedener Schredderinputmaterialien (Karossen, weiße Ware, Elektro(nik)schrott, Mischschrott untersucht.

**Tabelle 20: Ergebnisse der Analytik der Proben „G – Kompaktsortierer Absiebung < 10 mm“ (Kennbuchstabe „G“ in der Spalte „Probe (Muster)“ und „I – Kompaktsortierer Metallfraktion < 40 mm (Kennbuchstabe „I“ in der Spalte „Probe (Muster)“**

Material	Probe (Muster)	Gewicht Originalmuster in kg	Einsatzgewicht (Rohprobe) in kg	Rohprobe + Pyrit = Stein in kg	Gold (Au) in g/t	Silber (Ag) in g/t	Platin (Pt) in g/t	Palladium (Pd) in g/t	Kupfer (Cu) in %
SLF aus Karossen	K05G	0,63347	0,56640	0,99046	6,0	92,0	< 1,0	6,0	3,7
SLF aus Karossen	K05I	0,38928	0,34591	0,73995	6,0	37,0	< 1,0	8,0	3,3
SLF aus Karossen	K08I	0,39413	0,33220	0,82626	6,0	163,0	< 1,0	6,0	6,3
SLF aus Karossen	K12I	0,77429	0,65529	1,11444	6,0	56,0	< 1,0	11,0	3,2
SLF aus weißer Ware	W07G	0,58900	0,52723	0,85360	5,0	188,0	< 1,0	5,0	4,5
SLF aus weißer Ware	W09I	0,53091	0,41515	0,76311	4,0	89,0	< 1,0	1,0	1,5
SLF aus E-Schrott	E04G	0,55529	0,44525	0,63272	11,0	225,0	< 1,0	2,0	8,9
SLF aus Mischschrott	M01G	0,82450	0,70550	1,09364	3,0	108,0	< 1,0	1,0	1,5

Die Ergebnisse der Einzelmetallanalysen aus Tabelle 20 erbringen den Nachweis, dass Kupfer und Edelmetalle in den Fraktionen „G – Kompaktsortierer Absiebung < 10 mm“ und „I – Kompaktsortierer Metallfraktion < 40 mm“ enthalten sind. Kupfer ist zu 1,5 % bis 9 % in den Proben nachgewiesen worden, die Edelmetalle finden sich in Spurenkonzentrationen in den beiden Fraktionen – von teilweise über 100 ppm beim Silber über etwa 5 ppm (Gold, Palladium) bis weniger als 1 ppm (Platin).

Dabei lässt sich feststellen, dass die Fraktion „G“ (< 10 mm) offensichtlich überwiegend einen höheren Anteil an Kupfer und Edelmetallen aufweist als die Fraktion „I“ (< 40 mm). Damit bestätigt sich die Annahme, dass in der feinsten Fraktion eine Aufkonzentrierung der Edelmetalle stattfindet. Auffallend ist der gegenüber den anderen Edelmetallen hohe Silbergehalt in den Fraktionen (bis über 200 ppm in der Feinfraktion < 10 mm, die aus dem Schreddern von Elektronikschrott stammt). Das Element Platin konnte dagegen in keiner Fraktion nachgewiesen werden. Selbst die Mischprobe der Absiebung aus dem E-Schrott weist keinen Platingehalt auf. Der Silber- und Goldanteil ist in dieser Fraktion allerdings deutlich höher als in den anderen Proben. Diese Erkenntnis war allerdings bei dem Schreddervormaterial „E-Schrott“ zu vermuten, da in den elektrischen Geräten u.a. auch Leiterplatten / Platinen verbaut sind, die diese Edelmetalle enthalten können.

Bezüglich Rückgewinnung der o.g. Edelmetalle aus der Schredderleichtfraktion und deren mögliches Mengenpotential, nehmen wir zur Darstellung folgendes Beispiel an:

- Jahresmenge Schredderleichtfraktion aus Mischschrott: 24.000 Mg
- Anteil der Fraktion „G“ (<10mm) nach Tabelle 19: 1,86 Gew.-% = 446 Mg
- Bei einem Gehalt von 108 ppm Silber (Tabelle 20) ergibt sich eine rechnerische Rückgewinnung von 44 Kg/a

Der technische und finanzielle Aufwand für eine mögliche Rückgewinnung der Edelmetalle kann hier nicht beurteilt werden, die Ergebnisse der Versuche zeigen aber zumindest ein erhebliches Potenzial auf.

### **3.2 Bewertung der Vorhabensdurchführung**

Zu Beginn des Vorhabens waren die Sortiererergebnisse mit der Kompaktsortieranlage nicht optimal, es gab in den detektierten Fraktionen erhebliche Fehlaustragungen bzw. Materialverschleppungen (siehe 3.1). Nach den durchgeführten Optimierungen an der Sortieranlage und dem Windsichter konnte eine sehr gute Sortenreinheit erreicht werden, die veranschlagten Durchgangsleistungen (Mg/h) der Stoffströme wurden ebenfalls erreicht oder sogar übertroffen. Im Ergebnis konnten statt der angestrebten 5,0 Gew.-% Metallrückgewinnung aus der Schredderleichtfraktion von typischem Mischschrott sogar 6,3 Gew.% bezogen auf die gesamte Schredderleichtfraktion (24.000 Mg/a) erzielt werden. Die Vorhabensdurchführung kann somit als sehr erfolgreich bewertet werden.

### 3.3 Umweltbilanz

Es ist bekannt, dass der Einsatz von Altmetallen in der Sekundärproduktion sehr hohe Energie- und Treibhausgaseinsparungen im Vergleich zur Primärproduktion bewirkt. So werden beispielsweise bei der Produktion von einer Tonne Aluminium mit einem Anteil von 15 % Sekundäraluminium rund 8 Tonnen weniger Treibhausgase emittiert als bei einer reinen Erzeugung aus Primärrohstoffen. [7]

Der jährliche Materialdurchsatz hinsichtlich Zusammensetzung bzw. Herkunftsbereich des Schreddervormaterials für die Schredderanlage ist relativ inhomogen. Damit ist auch die Höhe der tatsächlichen Rückgewinnung der verschiedenen Metallsorten (Aluminium, Edelstahl, Buntmetalle) nur schätzungsweise möglich. Sicher hingegen ist die Aussage, dass mit der Kompaktsortieranlage am Standort mindestens 6,0 Gew. % der enthaltenen Metalle in der Schredderleichtfraktion gewonnen werden. Für eine Bewertung der Treibhausgaseinsparungen durch den Einsatz der Kompaktsortieranlage soll daher eine vereinfachte Annahme vorgenommen werden:

Mit der vereinfachten Annahme, dass es sich bei den zurück gewonnenen 1440 Mg/a Metallen (6 % der SLF) um ca. 40 % (576 Mg) Aluminium handelt und diese Menge als Sekundäraluminium in der Produktion von Aluminium eingesetzt wird, ergibt sich eine Einsparung von ca. 30.000 Tonnen weniger Treibhausgase, die emittiert werden. Der Einsatz der weiteren 864 Mg/a Metalle in die Metallproduktion wird nach einer Studie [7] vereinfacht mit ca. 3 Tonnen geringeren Treibhausgasen pro produzierter Tonne Metalle angenommen und ergibt somit nochmals eine Reduzierung von ca. 17.000 Tonnen. Die jährliche Einsparung an Treibhausgasen durch die Rückgewinnung der Metalle aus der Schredderleichtfraktion mittels Kompaktsortierer bei der LSH Lübecker Schrotthandel GmbH liegt somit bei ca. 47.000 Tonnen im Jahr.

Vergleichen wir die Sortierergebnisse der Metallrückgewinnung mit den bisher in der Branche üblichen Aufbereitungsverfahren (1.2.4) bei Schredderanlagen, wo bis zu 2 Gew.% NE-Metalle (Aluminium) aus der Schredderleichtfraktion gewonnen werden und setzen für diese Metalle selbigen Einsparungseffekt an, ergibt sich noch immer ein Unterschied von 28.000 Tonnen/Jahr weniger Treibhausgase durch den Einsatz der Kompaktsortieranlage.

Die Rückgewinnung der Metalle aus dem Abfallstrom trägt somit erheblich zur Verringerung klimarelevanter Emissionen bei. Gleichzeitig verbleiben die Metalle (1440 Mg/a) nicht in der Abfallfraktion (Schredderleichtfraktion) und müssen keiner Entsorgung zugeführt werden. Nach Abhängigkeit der Entsorgungswege bzw. Entsorgungsverfahren für die Schredderleichtfraktion kommt es hier zu weiteren Einsparungen an Treibhausgasen, nicht zuletzt auch durch die eingesparten Abfalltransporte.

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird folgend vereinfacht dargestellt, denn mit der Kompaktsortieranlage werden nur eigene Materialströme verarbeitet. Entscheidende Frage ist nur, ob sich die Investition der Anlage über die erzielbaren zusätzlichen Metallerlöse darstellen lässt.

- Investitionskosten der Kompaktsortieranlage:	ca. 1.200.000.-€.
- Die Betriebskosten bei einem 1-Schicht-Betrieb der Anlage und 1.700 Betriebsstunden im Jahr (213 Arbeitstage) betragen:	350.- €/h.
- Ausgehend von der gesamten Schredderleichtfraktion von 24.000 Mg/a, die am Standort anfallen, werden 17.000 Mg/a mittels Sortieranlage bearbeitet, daraus ergibt sich ein rechnerischer Anlagendurchsatz von:	10 Mg/h
- Betriebskosten/Anlagendurchsatz ergibt Verarbeitungskosten von:	35.- €/Mg
- Jährliche Verarbeitungskosten:	595.000.- €
- Die Erlössituation für die sortierten Metalle ist stark schwankend und richtet sich nach den jeweiligen Marktpreisen. Bei einer Annahme von einem Metallerlös von 600.- €/Mg und 1.440 Mg Metalle ergibt sich ein Erlös von	864.000.- €
- Kosteneinsparung durch 1440 Mg weniger Abfälle im Jahr, bei Entsorgungskosten von 100 €/Mg:	144.000.- €

Zwecks Vergleich mit konventionellen Verfahren (3.6), wo ebenfalls Metalle aus der Schredderleichtfraktion gewonnen werden (2%), müsste dieser Mindererlös noch Berücksichtigung finden.

- Abzüglich der bisher mit herkömmlicher Technik (siehe 3.6) gewonnenen Metalle von 2 % bezogen auf gesamte SLF = 480 Mg x 600 €	<u>288.000.- €</u>
<b>Überschuss von</b>	<b>125.000.- €</b>

Nach Beendigung der Probephase und durchgeführten Optimierungen der Anlage konnte in 2010 bereits ein positives Betriebsergebnis verzeichnet werden und die in der Projektplanung prognostizierte Rentabilität wurde sogar leicht übertroffen.

### 3.5 Technischer Vergleich zum konventionellen Verfahren

Bei der Mehrzahl der Schredderanlagenbetreiber in Deutschland wird die vor Ort anfallende Schredderleichtfraktion bisher nicht oder nur wenig behandelt. Teilweise wird die SLF über Wirbelstromabscheider geführt, diese Geräte sind in der Lage hauptsächlich das Metall Aluminium aus dem Stoffstrom zu separieren. Die Gewinnung von Metallen liegt hier in einem Massenanteil von etwa 2,0 % bezogen auf die gesamte SLF, wie eigene Versuche in der Vergangenheit am Standort in Lübeck gezeigt haben.

Der Großteil der weiteren NE-Metalle verbleibt in der SLF, hier ist der Hauptbestandteil dann im Edelstahl zu sehen. Wenige Anlagenbetreiber verfügen über eigene großtechnische Aufbereitungskapazitäten um einen größeren Massenanteil von 2 % Metalle aus der SLF zu gewinnen. Die zu Anfang des Berichtes genannten Beispiele sind Anlagenkonzepte, die von ihrer Größenordnung und installierten Anlagentechnik dann allerdings deutlich aufwendiger sind. Sie zielen nicht nur auf die Metallrückgewinnung ab, sondern haben beispielsweise auch die Rückgewinnung der Kunststoffe im Fokus.

Der Einsatz der Kompaktsortieranlage für die Behandlung der Schredderleichtfraktion erlaubt uns nun bei optimaler Anlagenführung eine durchschnittliche direkte Metallrückgewinnung über die gesamte Betriebszeit gesehen von gut 6,0 Masseprozent bezogen auf die gesamte SLF aus Mischschrott. (siehe Abschnitt 2.1 mit den Erläuterungen zur Massenverteilung - etwa 29 % der im Schredderprozess anfallenden SLF werden im Trommelsieb (20 mm) abgesiebt und nicht über die Kompaktsortieranlage geführt. Bezieht man daher die durchschnittliche Metallrückgewinnung von 8,9 Gew.-% auch auf den Massenanteil von 29 Gew.-%, der bereits im Trommelsieb abgeschieden wird, ergibt sich eine rechnerische Metallrückgewinnung von 6,3 Gew.-% der SLF). Vor dem Hintergrund der beschriebenen großen Massenströme und den zahlreichen Einflussfaktoren, die sich auf die Höhe der Metallrückgewinnung aus der Schredderleichtfraktion auswirken, kommunizieren wir die Höhe der Metallrückgewinnung daher mit **mindestens 6,0 %**.

## 4 Empfehlungen

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Bereits nach ersten Beprobungen und deren anschließender Auswertung konnten entsprechende Rückschlüsse auf Optimierungen des Gesamtverfahrens und weitere Systemverbesserungen an der Aufbereitungsanlage durchgeführt werden. So wurden begleitend zu den Untersuchungen bereits sehr erfolgreich Änderungen am System vorgenommen, deren Ergebnisverbesserung sich insbesondere bei Beprobungen und den zugehörigen Zahlenkolonnen der verschiedenen SLF-Fractionen erkennen ließen. Hier sind die Optimierungen an der Dosiertrommel und der Einbau eines zweiten Langteilabscheiders zu nennen (S. 14, 15)

Wie im Vorfeld beschrieben, trägt eine saubere Anlagenführung maßgeblich zur Erhöhung der Metallausbeute bei, gut ausgebildetes Personal ist ein entscheidender Faktor. Die Behandlungsqualität nimmt bei nasser Witterung ab, da es hier dann zu deutlich mehr „Materialverschleppungen“ kommt. Hier könnte eine komplette Einhausung bzw. ein Anlagenaufbau in einer Halle weitere Verbesserungen mit sich bringen. Auch teilweise vorkommende Siebverstopfungen könnten dadurch deutlich minimiert werden. In den ersten Betriebsmonaten kam es leider häufig zu Ausfällen der elektrischen Steuerung der Anlage, die sich allerdings nicht auf den Kompaktsortierer selbst, sondern auf die diversen Förderbänder bezog. Diese Störungen wurden immer durch Defekte der Frequenz-Umrichter ausgelöst, die zur Einstellung der Bandgeschwindigkeiten genutzt werden. Die Beschaffung und der Austausch der Geräte führte zu Anlagenausfällen von teilweise mehreren Tagen. Die Ursache liegt nach bisherigen Erkenntnissen bei der Auswahl der Frequenz-Umrichter, teilweise wurden offensichtlich Geräte mit zu geringer Leistung verbaut. Zumindest sind nach den letzten Ausfällen im Oktober 2010 Geräte mit einer größeren Leistung verbaut worden und seither gibt es hier keine Störungen mehr. Dieser Punkt muss allerdings weiter beobachtet werden. Ein weiterer Schwachpunkt war in den ersten Monaten eine öfter vorkommende Überhitzung der Kompressoren, die dann zu einem selbsttätigen Abschalten der Kompressoren (Notaus) führte. Die Ursache konnte mit der verunreinigten Ansaugluft der Kompressoren ausgemacht werden. Wir selbst hatten die Zuluftführung für die Kompressoren nicht weit genug in einen staubfreien Bereich der Anlage geführt, was zwischenzeitlich aber vollzogen wurde.

Ein Punkt, der zu einer weiteren Verbesserung der Sortierleistung führen könnte, wäre eine weitere Verringerung des Feinkornanteils im Inputstrom des Kompaktsortierers. Das installierte Trommelsieb (20mm) lässt noch immer Feinanteile im Stoffstrom passieren und diese Feinanteile durchlaufen letztlich die komplette Sortiereinheit. Auch der Windsichter kann nicht alle Feinanteile ausschleusen und somit werden sie über den Kompaktsortierer geführt. Wir werden diesen Aspekt in 2011/2012 hinsichtlich Optimierung berücksichtigen.

## **4.2 Modellcharakter**

Der Einsatz dieser Kompaktsortieranlage für die Metallrückgewinnung aus dem Abfall Schredderleichtfraktion hat sich als praktikabel erwiesen. Unabhängig von der Höhe der Metallrückgewinnung konnte auch der Volumenstrom mit der Anlagentechnik bewältigt werden. Hier hatten wir größere Schwierigkeiten erwartet. Die Anlagenkonzeption wurde so aufgebaut, dass eine nachträgliche Installation an einer Schredderanlage möglich ist, ohne den bisherigen Anlagenbetrieb nennenswert einschränken zu müssen. Aufgrund der kompakten Bauweise (Standardcontainer) des Kompaktsortierers genügt schon eine Grundfläche von ca. 250 m<sup>2</sup> zur Installation der kompletten Aufbereitungstechnik mit Materialbunker, Windsichter und der entsprechenden Fördertechnik. Grundsätzlich lässt sich diese Technik daher auch auf andere Schredderanlagen übertragen.

## 5 Zusammenfassung

Dem Demonstrationsvorhaben „Einsatz einer Kompaktsortieranlage zur Metallausschleusung bei Schredderleichtfraktionen“ kann ein großer umwelttechnischer Erfolg beschieden werden. Die Anlagentechnik stellt einen sinnvollen Ansatz zur Massenreduzierung der Schredderrückstände in Kombination mit dem Gewinn von wertvollen Metallen in nahezu reiner Form dar. Es wurde nachgewiesen, dass aus bisher nahezu komplett unbehandelten Stoffströmen Rohstoffe zurück gewonnen werden können. Die dazu eingesetzte Technik ist nach unserer Kenntnis unter Berücksichtigung des Aufwandes für eine Aufbereitungsanlage derzeit die einzige, die die enorm voluminösen, heute anfallenden Mengenströme mit derartigen Rückgewinnungsquoten be- und verarbeiten kann. Anfängliche technische Schwierigkeiten konnten gelöst werden, die Anlage läuft nun weitestgehend störungsfrei. Ein sehr wichtiger Aspekt bei dem Betrieb der Anlage ist das Bedienpersonal. Die Qualität der Sortierung und damit im direkten Zusammenhang auch die Höhe der Metallausbeute hängt maßgeblich von gut geschulten und zuverlässigen Personal ab. Dieser Aspekt sollte von Beginn einer möglichen Anlagenplanung berücksichtigt werden. Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass wir ausgehend von einem Mengenanteil von 24.000 Mg/a Schredderleichtfraktion, der an unserem Standort anfällt, aus dieser Fraktion ca. 1440 Mg/a (6 Gew.-%) Metalle zurück gewonnen werden. Damit wird die identische Menge an Abfall zur Entsorgung eingespart.

Die sensorgestützte Sortieranlage stellt keine Komplettlösung hinsichtlich Verwertung der Schredderrückstände dar, dieser Anspruch war aber auch nicht Gegenstand des Projektes. Bezüglich der Metallrückgewinnung aus der Schredderleichtfraktion stellt sie aber eine sinnvolle und zufrieden stellende Behandlungsmethode dar.

## 6 Quellenangaben

- [1] Bestandsaufnahme zur Aufbereitung und Verwertung der Shredderleichtfraktion  
Von Dr.-Ing. Jörg Julius / Lehrstuhl für Aufbereitung und Recycling fester  
Abfallstoffe der RWTH Aachen, April 2005
  
- [2] Karl J. Thome´Kozmiensky, Daniel Goldmann: Recycling und Rohstoffe Band 2:  
Thomas Bürgler, Arno Habermann, Bernhard Hehn, Harald Mitterbauer:  
Stoffströme aus der Schredderrückstandsaufbereitung; TK Verlag, 2009
  
- [3] DTI GmbH & Co. KG, [www.detector-trade.de/DTI-Puls.htm](http://www.detector-trade.de/DTI-Puls.htm), Abfrage am  
18.05.2009
  
- [4] WMS Group, Waste Metal Split-up Kontakt: RP Schotter und Asche AG,  
Hirschgässlein 11, CH-4051 Basel, Technischer Ansprechpartner: Dipl.-Ing.  
Andreas Weingart
  
- [5] DBShredder\_NRW.pdf, Dezember 2004
  
- [6] Ergebnisse aus eigenen früheren händischen Aussortierungen der Metalle aus  
der Schredderleichtfraktion
  
- [7] Studie des UBA Österreich „Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse“  
2010

Anhang 1: Beprobung der Windsichterleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 3)

## Tabelle für Beprobung

<b>Material:</b>
Windsichter SLF (aus Mischschrott)

<b>Bemerkung:</b>
Beprobung beinhaltet auch feine und feinste Drähte sowie andere feine und feinste Teilchen!!!

Windsichterausgang:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
25.11.2009	11:20	1,62	0,01	<b>0,62</b>
26.11.2009	09:29	2,38	0,03	<b>1,26</b>
26.11.2009	14:00	2,74	0,04	<b>1,46</b>
<b>Mittelwert:</b>		<b>2,25</b>	<b>0,03</b>	<b>1,19</b>

Absoluter Fehler:  $\Delta \bar{x} = \pm$  0,31 [%]

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 68,3 % und n = 3 Messreihen => t = 1,20

Anhang 2: Beprobung des Siebunterkorn < 40mm (Verweis auf Tabelle 3)

## Tabelle für Beprobung

<b>Material:</b>
Siebunterkorn < 40 mm SLF (aus Mischschrott)

Siebunterkornausgang:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
25.11.2009	10:52	1,17	0,26	22,22
25.11.2009	13:46	1,64	0,34	20,73
26.11.2009	10:10	1,40	0,25	17,86
26.11.2009	10:30	1,66	0,44	26,51
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,47</b>	<b>0,32</b>	<b>21,98</b>

Absoluter Fehler:  $\Delta \bar{x} = \pm 2,08$  [%]

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 68,3 % und n = 4 Messreihen => t = 1,15

Anhang 3: Beprobung der Metallfraktion (Verweis auf Tabelle 3)

### Tabelle für Beprobung

Material:
Shredderleichtfraktion (aus Mischschrott)

Einstellungen:	
Programm:	0
Empfindlichkeit:	5
Druck:	4,5 bar

Metallfraktion:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
25.11.2009	11:03	1,03	0,65	63,11
25.11.2009	14:10	1,92	1,26	65,63
26.11.2009	09:50	1,42	0,72	50,70
26.11.2009	10:00	1,80	1,16	64,44
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,54</b>	<b>0,95</b>	<b>60,97</b>

Absoluter Fehler:  $\Delta \bar{x} = \pm 3,98$  [%]

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 68,3 % und n = 4 Messreihen => t = 1,15

**Anhang 4: Beprobung der Metallfraktion nach Optimierung an der Beschickung  
Dosiertrommel (Verweis auf Tabelle 3)**

**Tabelle für Beprobung**

<b>Material:</b>
Shredderleichtfraktion (aus Mischschrott)

<b>Einstellungen:</b>	
<u>Programm:</u>	0
<u>Empfindlichkeit:</u>	5
<u>Druck:</u>	4,5 bar

Metallfraktion:

<b>Datum</b>	<b>Uhrzeit</b>	<b>Probenmenge</b>	<b>Metallgehalt</b>	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
03.12.2009	08:22	1,33	1,08	81,20
03.12.2009	08:50	1,64	1,33	81,10
03.12.2009	09:53	1,40	1,17	83,57
03.12.2009	11:47	1,57	1,31	83,44
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,49</b>	<b>1,22</b>	<b>82,32</b>

Absoluter Fehler:  $\Delta \bar{x} = \pm 3,51$  [%]

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 68,3 % und n = 4 Messreihen => t = 1,15

Anhang 5: Beprobung des Nichtmetallgemischs der Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 3)

### Tabelle für Beprobung

<b>Material:</b>
Shredderleichtfraktion (aus Mischschrott)

<b>Einstellungen:</b>	
Programm:	0
Empfindlichkeit:	5
Druck:	4,5 bar

Nichtmetallfraktion:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
25.11.2009	10:46	1,15	0,000	0,00
25.11.2009	14:20	1,70	0,000	0,00
26.11.2009	11:20	0,74	0,000	0,00
26.11.2009	09:41	1,30	0,004	0,31
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,22</b>	<b>0,003</b>	<b>0,31</b>

Absoluter Fehler:  $\Delta \bar{x} = \pm 0,25$  [%]

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 68,3 % und n = 4 Messreihen => t = 1,15

Anhang 6 : Massenbilanz für Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 2)

### Tabelle für Massenbilanz

Material Input: Shredderleichtfraktion aus Mischschrott

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Windsichter		Metall		Nichtmetall		Siebunterkorn	
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
26.11.2009	12:20	1960,00	1530,60	78,09	43,12	2,20	106,00	5,41	280,28	14,30

Anhang 7: Beprobung der Schredderleichtfraktion (Tabelle 7)

### Tabelle für Beprobung zum Projektende

<b>Material:</b>
Windsichterleichtfraktion (aus Mischschrott)

<b>Bemerkung:</b>
Beprobung beinhaltet auch feine und feinste Drähte sowie andere feine und feinste Teilchen!!!

Windsichterausgang:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
16.04.2010	10:05	1,97	0,02	1,02
16.04.2010	10:33	2,12	0,02	0,94
16.04.2010	11:15	2,84	0,03	1,06
<b>Mittelwert:</b>		<b>2,31</b>	<b>0,02</b>	<b>1,01</b>

Anhang 8: Beprobung der Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 7)

**Tabelle für Beprobung**

<b>Material:</b>
Siebunterkorn < 40 mm SLF (aus Mischschrott)

Siebunterkornausgang:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
16.04.2010	10:15	1,47	0,33	22,45
16.04.2010	10:40	1,74	0,45	25,86
16.04.2010	11:05	1,50	0,35	23,33
16.04.2010	11:45	1,62	0,43	26,54
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,58</b>	<b>0,39</b>	<b>24,54</b>

Anhang 9: Beprobung der Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 7)

**Tabelle für Beprobung**

<b>Material:</b>
Shredderleichtfraktion (aus Mischschrott)

<b>Einstellungen:</b>	
Programm:	0
Empfindlichkeit:	5
Druck:	4,5 bar

Nichtmetallfraktion:

Datum	Uhrzeit	Probenmenge	Metallgehalt	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
16.04.2010	09:50	1,20	0,006	0,50
16.04.2010	10:20	1,65	0,005	0,30
16.04.2010	11:20	1,45	0,005	0,34
16.04.2010	12:05	1,52	0,005	0,33
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,46</b>	<b>0,005</b>	<b>0,37</b>

Anhang 10: Tabelle für Beprobung Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 7)

### Tabelle für Beprobung

<b>Material:</b>
Shredderleichtfraktion (aus Mischschrott)

<b>Einstellungen:</b>	
Programm:	0
Empfindlichkeit:	5
Druck:	4,5 bar

Metallfraktion:

<b>Datum</b>	<b>Uhrzeit</b>	<b>Probenmenge</b>	<b>Metallgehalt</b>	
[dd:mm:yy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]
16.04.2010	08:15	1,48	1,23	83,12
16.04.2010	08:50	1,52	1,33	87,50
16.04.2010	09:40	1,60	1,39	86,88
16.04.2010	11:30	1,64	1,35	82,31
<b>Mittelwert:</b>		<b>1,56</b>	<b>1,33</b>	<b>84,95</b>

Anhang 11: Massenbilanz für Schredderleichtfraktion (Verweis auf Tabelle 6)

### Tabelle für Massenbilanz

Material Input: Shredderleichtfraktion aus Mischschrott

<b>Datum</b>	<b>Uhrzeit</b>	<b>SLF-Input</b>	<b>Windsichter</b>		<b>Metall</b>		<b>Nichtmetall</b>		<b>Siebunterkorn</b>	
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
16.04.2010	10:34	1850,00	1243,20	67,20	107,32	5,80	144,30	7,8	355,20	19,20

## Anhang 12: Massendurchsatz für Schredderleichtfraktion (3.1.1.7 im Abschlußbericht)

Schredderleichtfraktion:

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Dauer	Durchsatz
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[min]	[t/h]
14.12.2009	10:35	1960,00	37	3,18
14.12.2009	13:10	1580,00	29	3,27
15.12.2009	07:30	6300,00	118	3,20

Durchschnittlicher Durchsatz in [t/h]:	3,22 ± 0,09
--	-------------

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 95 % und n = 3 Messreihen => t = 3,18

Schredderschwerfraktion:

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Dauer	Durchsatz
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[min]	[t/h]
10.12.2009	09:15	2150,00	27	4,77
10.12.2009	10:50	3230,00	42	4,60
10.12.2009	14:30	5810,00	70	4,98

Durchschnittlicher Durchsatz in [t/h]:	4,78 ± 0,18
--	-------------

Berechnung mit der statistischen Sicherheit P = 95 % und n = 3 Messreihen => t = 3,18

## Anhang 13: Beprobung SLF aus Karossen (Verweis auf Tabelle 16)

### Tabelle für Massenbilanz

Material Input: Shredderleichtfraktion aus Karossenschrott

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Metall gesamt		Metallf. „E“		Metallf. „I“		Metall in „G“	
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
22.06.2010	08:00	2320,0	195,1	8,41	99,8	4,30	51,1	2,20	25,5	1,10
22.06.2010	10:40	3470,0	433,1	12,48	216,5	6,24	124,9	3,60	74,6	2,15
22.06.2010	14:30	2810,0	275,6	9,81	132,6	4,72	75,3	2,68	45,8	1,63
23.06.2010	10:30	2560,0	264,2	10,32	126,7	4,95	73,2	2,86	48,6	1,90
23.06.2010	12:20	1830,0	215,4	11,77	113,1	6,18	53,4	2,92	37,1	2,03

Anhang 14: Beprobung SLF aus "weißer Ware" (Verweis auf Tabelle 17)

### Tabelle für Massenbilanz

Material Input: Shredderleichtfraktion aus weißer Ware (Haushaltsgroßgeräte)

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Metall gesamt		Metallf. „E“		Metallf. „I“		Metall in „G“	
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
28.06.2010	07:30	2670,0	<b>270,4</b>	<b>10,12</b>	129,0	<b>4,83</b>	47,3	<b>1,77</b>	69,4	<b>2,60</b>
28.06.2010	09:20	3120,0	<b>237,4</b>	<b>7,61</b>	97,0	<b>3,11</b>	40,2	<b>1,29</b>	60,8	<b>1,95</b>
29.06.2010	09:30	2150,0	<b>181,2</b>	<b>8,43</b>	105,8	<b>4,92</b>	29,7	<b>1,38</b>	32,3	<b>1,50</b>
29.06.2010	11:30	2860,0	<b>256,8</b>	<b>8,98</b>	124,4	<b>4,35</b>	50,1	<b>1,75</b>	55,5	<b>1,94</b>

Anhang 15: Beprobung SLF aus Elektronikschrott (Verweis auf Tabelle 18)

### Tabelle für Massenbilanz

Material Input: Shredderleichtfraktion aus Elektronikschrott

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Metall gesamt		Metallf. „E“		Metallf. „I“		Metall in „G“	
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
07.07.2010	08:30	2110,0	<b>281,1</b>	<b>13,32</b>	91,4	<b>4,33</b>	96,4	<b>4,57</b>	80,4	<b>3,81</b>
07.07.2010	10:55	1700,0	<b>313,8</b>	<b>18,46</b>	138,9	<b>8,17</b>	126,3	<b>7,43</b>	38,3	<b>2,25</b>
08.07.2010	08:45	2380,0	<b>371,5</b>	<b>15,61</b>	157,1	<b>6,60</b>	111,6	<b>4,69</b>	82,1	<b>3,45</b>
08.07.2010	11:20	2540,0	<b>413,5</b>	<b>16,28</b>	191,3	<b>7,53</b>	136,4	<b>5,37</b>	65,0	<b>2,56</b>

Anhang 16: Beprobung SLF aus Mischschnitt (Verweis auf Tabelle 19)

### Tabelle für Massenbilanz

Material Input: Shredderleichtfraktion aus Mischschnitt

Datum	Uhrzeit	SLF-Input	Metall gesamt		Metallf. „E“		Metallf. „I“		Metall in „G“	
[dd.mm.yyyy]	[hh:mm]	[kg]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]
09.07.2010	08:15	2950,0	<b>351,6</b>	<b>11,92</b>	151,0	<b>5,12</b>	132,2	<b>4,48</b>	41,3	<b>1,40</b>
09.07.2010	14:30	2410,0	<b>247,5</b>	<b>10,27</b>	101,9	<b>4,23</b>	95,7	<b>3,97</b>	32,5	<b>1,35</b>
10.07.2010	08:30	2550,0	<b>309,3</b>	<b>12,13</b>	117,3	<b>4,60</b>	101,5	<b>3,98</b>	66,6	<b>2,61</b>
10.07.2010	11:45	2880,0	<b>321,9</b>	<b>11,18</b>	125,0	<b>4,34</b>	114,1	<b>3,96</b>	58,8	<b>2,04</b>
10.07.2010	13:10	2730,0	<b>268,3</b>	<b>9,84</b>	114,9	<b>4,21</b>	76,2	<b>2,79</b>	51,9	<b>1,90</b>

Erläuterung zu den Metallfraktionen:

E = Kompaktsortierer Metallfraktion

G = Kompaktsortierer Absiebung < 10mm

I = Kompaktsortierer Metallfraktion (0-40 mm)