Hochschule Amberg-Weiden
für angewandte Wissenschaften
University of Applied Sciences (FH)

Bachelor-Studiengang Umwelttechnik
Modul 3.5 Abfallwirtschaft – Projektbericht

Erstellen einer Praktikumsanleitung für die Arbeit mit einem Koronawalzenscheider

WS 2011/2012

Prof. Dr. – Ing. Berninger

Bearbeitet von

Pelda Johannes
Shamana Sami

12.01.2012

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 3
2 Trennung von Altkabeln in Leiter- bzw. Nichtleiterfraktion ... 3
2.1 Zerkleinerung der Altkabel ... 3
2.2 Klassieren der zwei Fraktionen ... 3
2.3 Elektrostatische Trennung ... 4
2.3.1 Graphische Auswertung der elektrostatischen Trennung ... 6
2.3.2 Schwierigkeiten bei der elektrostatischen Trennung ... 7
2.4 Mögliche Arbeitsschritte für das Praktikum ... 8
2.4.1 Zerkleinerung ... 8
2.4.2 Klassieren ... 8
2.4.3 Elektrostatische Trennung ... 8
2.4.4 Dichtemessung ... 9
3 Trennung der CD Bestandteile ... 10
4 Trennung von Platinenschrott ... 10
5 Zusammenfassung ... 10
6 Anhang ... 12
7 Abbildungsverzeichnis ... 12
8 Tabellenverzeichnis ... 12

1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Aufbereitung von Kabelschrott durch Trennung in eine Leiter- bzw. Nichtleiterfraktion mit Hilfe eines Koronawalzenscheiders“ sollte eine Praktikumsanleitung für nachfolgende Studiensemester der Umwelttechnik ausgearbeitet werden. Als Grundlage dient ein Projektbericht mit dem Thema „Aufbereitung von Altkabeln mit Hilfe eines Koronawalzenscheiders“. In dieser Arbeit wird die Machbarkeit der praktikumsrelevanten Arbeitsschritte vorgestellt. Außerdem werden zwei weitere Stoffgemische untersucht: die Trennung von CDs in Datenträgerfolie und Folienträger und die Separation von Platinenschrott in Leiter- bzw. Nichtleiterfraktion.

2 Trennung von Altkabeln in Leiter- bzw. Nichtleiterfraktion

Bei der Trennung von Altkabeln in eine Leiter- und Nichtleiterfraktion ergeben sich folgende Vorteile:

1. Weitgehend ungefährliche Bestandteile im Ausgangsmaterial (PVC haltig)
2. Leichte Handhabung
3. Technisch sehr gut trennbar
4. Viel Erfahrung vorhanden
5. Geringe Staubentwicklung und Verschmutzung des Koronawalzenscheiders
6. Trennung wegen des hohen Kupferpreises sehr interessant

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Altkabelverwertung beschrieben.

2.1 Zerkleinerung der Altkabel

Weil sowohl die Hammermühle als auch die Fritsch-Schneidemühle nur mit kleinen Teilen beschickt werden können, mussten die Kabel zuerst auf eine Länge von ca. 10 cm per Hand zerstückelt werden. Anschließend wurde ein Teil des so vorbereiteten Ausgangsmaterials in der Hammermühle mit einem Austragssieb von 5 mm zerkleinert, ein anderer Teil mit der Fritsch-Schneidemühle mit einem Austragssieb von 1 mm.

Die Herstellung einer Fraktion unterhalb 1 mm war wegen der starken Hitzeentwicklung nur begrenzt möglich, da die Bestandteile aus Plastik zum Teil verklumpten und verschmorten. Dabei verstopfte das Gerät und es kam zu einer enormen Rauchentwicklung. Während der Zerkleinerung bildeten sich außerdem leichte, im Raum freifliegende, elektrostatisch aufgeladene Flocken, die das Labor verschmutzen. Deshalb sollte der Kabelschrott nicht auf die Korngröße unterhalb 1 mm zerkleinert werden.

Die Zerkleinerung mit der Hammermühle lieferte eine Fraktion in der Korngröße von 5 mm und die Zerkleinerung mit der Fritsch-Schneidemühle lieferte eine Fraktion mit der Korngröße von 1 mm.

2.2 Klassieren der zwei Fraktionen

Um Fraktionen mit definierter Kornklasse zu erhalten wurden anschließend mit Hilfe des Zweideck-Siebmaschine (Siebboden unten mit 1 mm und oben mit 4 mm) drei Fraktionen aus dem Material der Hammermühle mit einheitlicher Kornklasse von < 1 mm, > 4 mm und 1 – 4 mm erzeugt. Längere Kupferteile gelangten dabei in sehr kleinen Mengen in Fraktionen kleinerer Korngrößen. Die Kornklasse > 4 mm enthält neben voneinander aufgetrennten Kupfer- und Kunststoffteilen auch Klumpen. Die Klumpen bestanden aus miteinander verschmolzenem Kupfer und Kunststoff.

Die Klassierung verursachte keine nennenswerte Staub- bzw. Rauchentwicklung. Die Handhabung der Zweideck-Siebmaschine ist nicht schwierig. Eine Sicherheitsunterweisung muss wegen der heftigen mechanischen Bewegung des Gerätes unbedingt erfolgen.

2.3 Elektrostatische Trennung

Jede Fraktion wurde mit der Grundeinstellung (siehe Tabelle 3 in 2.3.2) des Koronawalzenscheiders elektrostatisch separiert, um die unterschiedliche Trennschärfe der verschiedenen Korngrößen festzustellen. Im Folgenden werden die Ergebnisse dargelegt:

Korngröße	Zerkleinerungsaggregat	Aufgabemenge	Nichtleiter in %	Mischfraktion in %	Leiter in %
≤ 1 mm	Fritsch-Schneidemühle	2000	43,6	1,2	54,9
< 1 mm	Hammermühle	1000	50,3	2,5	44,6
> 4 mm	Hammermühle	2000	37,1	9,9	54,5
1 - 4 mm	Hammermühle	2000	45,3	1,5	52,4

Tabelle 1: Prozentuale Verteilung der Aufgabemenge in NLF, MF und LF

Nach der Trennung des Kupfer-Kunststoff-Gemisches erhalten wir drei Fraktionen: eine Nichtleiterfraktion (NLF), eine Mischfraktion (MF) und eine Leiterfraktion (LF). Tabelle 1 zeigt den prozentualen Anteil jeder Fraktion bezogen auf das gesamte Kupfer-Kunststoff-Gemisch.

Die besten Ergebnisse erzielen das mit der Fritsch-Schneidemühle und das mit der Hammermühle in der Korngröße 1 – 4 mm gewonnene Ausgangsmaterial.

Das schlechteste Ergebnis liefert das mit der Hammermühle in der Korngröße > 4 mm gewonnene Ausgangsmaterial. Die in 2.2 erwähnten Kupfer-, Kunststoffklumpen verfälschen das Ergebnis. Die Klumpen gelangen wegen der erhöhten Fliehkraft und ihrer geringeren Aufladung in die Leiterfraktion oder Mischfraktion. Die Nichtleiterfraktion fällt deswegen geringer aus.

Das Material der Hammermühle mit der Kornklasse < 1 mm führt zu einem schlechteren Ergebnis als die vergleichbare Kornklasse der Fritsch-Schneidemühle mit ≤ 1 mm. So zeichnet sich das Hammermühlenmaterial durch seine Partikelform aus, die relativ lange Kupferstücke und Plastikummantelungen enthält. Diese führen zu Verhakungen und bilden Knäule, die wegen mangelnder Leitfähigkeit zu einem erhöhten Austrag in die Nichtleiterfraktion führen. Die Fritsch-Schneidemühle dagegen zerschneidet die Kabel und erzeugt somit kurze fast quadratische Stücke, die keine Knäule bilden können. Dadurch fällt die Mischfraktion um 50%, die Nichtleiterfraktion um fast 7% geringer aus.

Je besser der Nichtleiter vom Leitermaterial bereits bei der Zerkleinerung aufgetrennt wurde, desto größer sind die Anteile der Nichtleiter- und die Leiterfraktion bei kleiner werdender Mischfraktion.

In Tabelle 2 ist die Schüttdichte der einzelnen Fraktionen, berechnet nach 2.4.4 Dichtemessung, zu sehen.

Korngröße	Zerkleinerungsaggregat	Aufgabemenge	Schüttdichte des NLF in g/cm³	Schüttdichte der MF in g/cm³	Schüttdichte des LF in g/cm ³
≤ 1 mm	Fritsch-Schneidemühle	2000	0,6	1,1	2,8
< 1 mm	Hammermühle	1000	0,6	1,3	3,1
> 4 mm	Hammermühle	2000	0,4	0,6	0,8
1 - 4 mm	Hammermühle	2000	0,5	0,8	3,2

Tabelle 2: Schüttdichte der Fraktionen

Das beste Ergebnis liefert die Hammermühle mit der Korngröße < 1 mm und 1 – 4 mm. Hier erhalten wir eine geringe Schüttdichte in der Nichtleiterfraktion von 0,6 bzw. 0,5 g/cm³ und eine hohe Schüttdichte in der Leiterfraktion von 3,1 bzw. 3,2 g/cm³.

Ein schlechtes Ergebnis liefert die Trennung der Korngröße > 4 mm. Bei dieser Korngröße verursachen Klumpen eine mangelhafte Reinheit in der Leiterfraktion. Dies führt zu einer Schüttdichte der Leiterfraktion von 0,8 g/cm³ im Vergleich zu dem bei diesen Versuchen erreichten Maximalwert von 3,1 g/cm³. Je mehr sich der Wert der Schüttdichte dem Wert des spezifischen Gewichts des Leitermaterials annähert, desto reiner diese Fraktion.

Wie aus Tabelle 2 ersichtlich, ist die Schüttdichte der Leiterfraktion dann am größten, wenn es sich um Material aus der Hammermühle ohne Klumpen in der Korngröße < 1mm und 1 – 4 mm handelt. Die Ergebnisse für das mit der Fritsch-Schneidemühle gewonnene Material sind dagegen schlechter.

2.3.1 Graphische Auswertung der elektrostatischen Trennung

Sowohl die Schüttdichte als auch die Größen der einzelnen Fraktionen beeinflussen den Trennerfolg. Folgende Diagramme fassen die Schüttdichtemessung und den Austrag in die einzelnen Fraktionen zusammen.

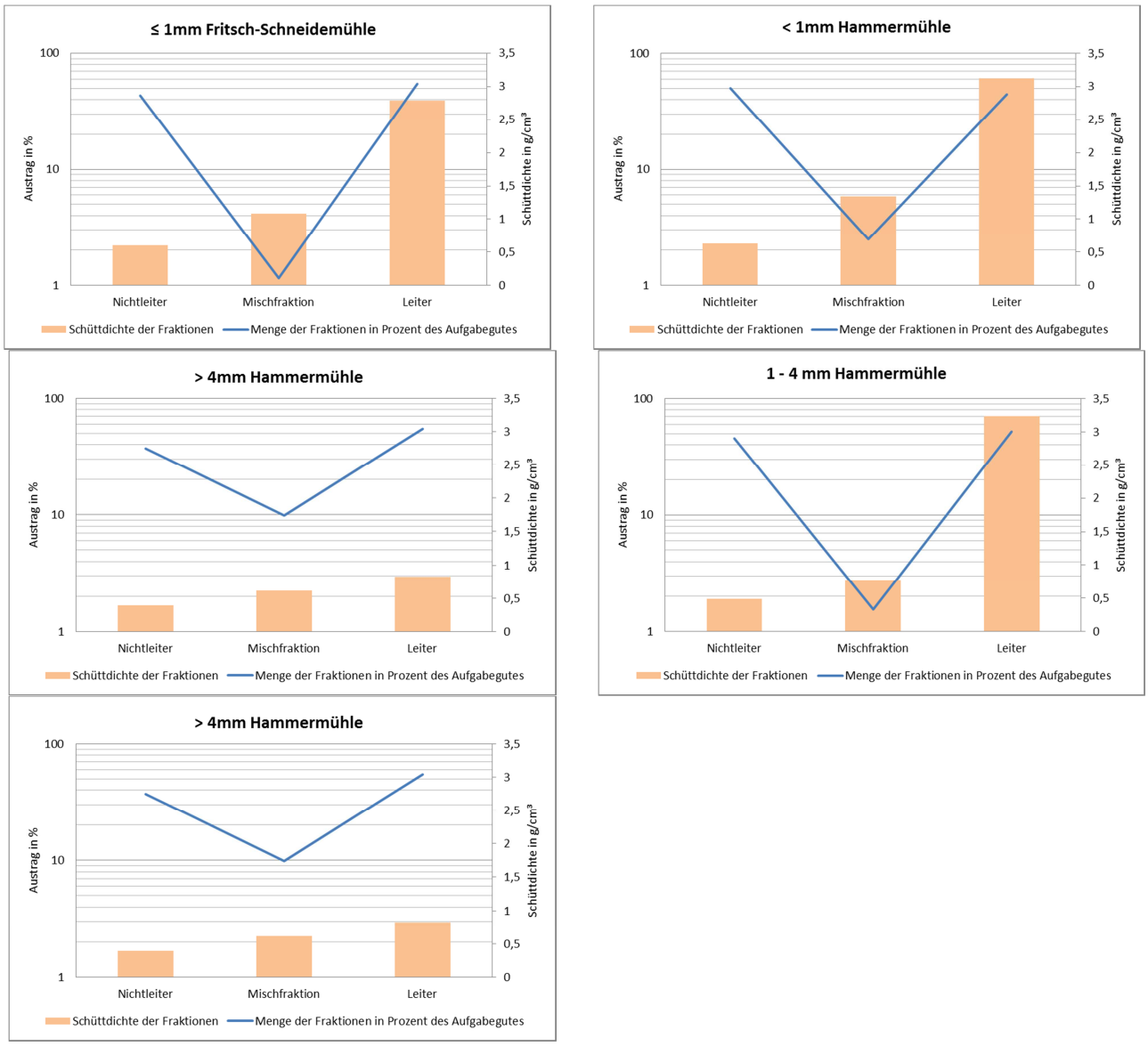


Abbildung 1: Grafische Auswertung der Trennergebnisse der vier Korngrößen

Der Trennerfolg setzt sich aus der Form des Vs und der Schüttdichte der einzelnen Fraktionen zusammen. Das V zeigt hierbei die Größe von Leiter-, Misch und Nichtleiterfraktion nach der Trennung. Je tiefer die Basis des Vs ist, desto kleiner ist die Mischfraktion und somit das Abfallprodukt der ersten elektrostatischen Trennung. Eine optimale, prozentuale Verteilung zeigt Bildnummer 1 (≤ 1 mm Fritsch-Schneidemühle). Das V bildet jedoch nur die prozentuale Verteilung der einzelnen Fraktionen ab und nicht deren Reinheit. So ist zum Beispiel das Aufgabegut ≤ 1 mm der Fritsch-Schneidemühle prozentual sehr gut aufgetrennt worden, die Schüttdichte liegt jedoch mit 2,8 g/cm³ unter dem, in anderen Versuchen erreichte Optimum von 3,2 g/cm³. Deshalb ist es zur Bestimmung der Trennschärfe notwendig, die Schüttdichte heranzuziehen, in der Abbildung 1 dargestellt als oranger Balken. Dabei ist das Optimum erreicht, wenn die Nichtleiterfraktion eine möglichst geringe Schüttdichte, die Mischfraktion sich der Nichtleiterschüttdichte annähert und die

Leiterfraktion eine möglichst hohe Schüttdichte aufweist. Leider stehen in der Literatur keine Werte für Schüttdichte bei vorgegebener Kornklasse. Deshalb kann auch keine genaue Aussage über die absolute Reinheit mittels der Schüttdichtebestimmung gemacht werden. Die Schüttdichten der Fraktionen dienen lediglich als Vergleichswert.

2.3.2 Schwierigkeiten bei der elektrostatischen Trennung

In Abbildung 2 sind die Elemente des Koronawalzenscheiders beschrieben.

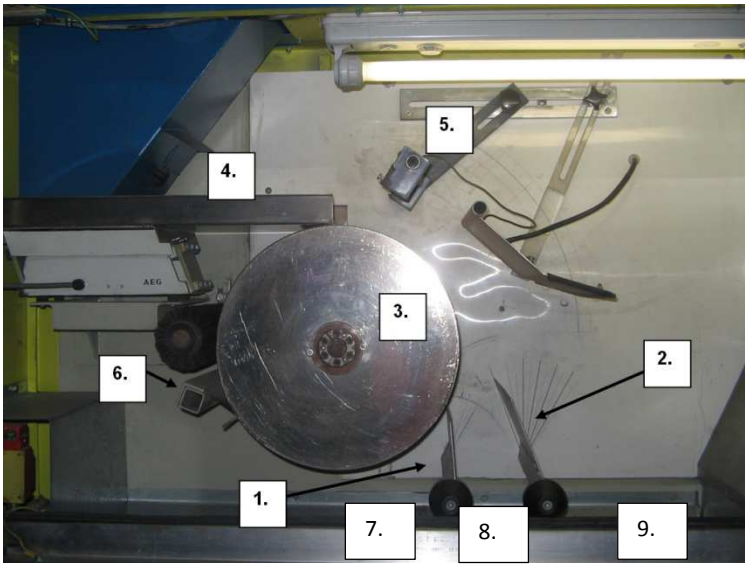


Abbildung 2: Koronawalzenscheider

1. **Klappe links (KL)**
2. **Klappe rechts (KR)**
3. **Walze (Trommel)**
4. **Schwingförderer**
5. **Elektrode**
6. **Abstreifvorrichtung**
7. **Nichtleiterfraktion**
8. **Mischfraktion**
9. **Leiterfraktion**

<u>Schwingförderer</u>

Bei einer zu niedrigen Schwingstufe des Schwingförderers bildeten sich auf dem Schwingförderbett Materialbrücken aus. Außerdem blieb ein Teil der von der Elektrode aufgeladenen Teilchen auf dem Schwingförderbett haften, da der Vorschub des Schwingförderers schwächer war als die Haftkraft der Teilchen. Die Materialzufuhr zur Trommel wurde unterbrochen, die Anlage sortierte nicht mehr.

Eine zu hohe Schwingstufe hat wegen einer zu schnellen Förderung der Teilchen auf die Trommel folgende Nachteile:

1. Keine ausreichende Aufladung der Partikel
2. Doppelschichtenbildung auf der Trommel und gegenseitige Behinderung der Kupfer- bzw. Kunststoffteile

<u>Trommel</u>

Falls die Trommel zu schnell eingestellt wird, lösen sich teilweise die Plastikpartikel wegen höherer Fliehkräfte zu früh und werden dadurch in die falsche Fraktion geschleudert.

Eine zu langsame Rotation der Trommel führt zu einem erhöhten Anteil von Kupferteilen in der Mischfraktion. Die Fliehkraft reicht nicht aus, um die Kupferteile in die Leiterfraktion zu schleudern.

<u>Elektrodeneinstellung</u>

Wenn die Elektroden zu nah an der Trommel sowie am Schwingförderer sind, werden die Partikel bereits auf dem Schwingförderer elektrostatisch geladen. Die Haftkräfte sind dann stärker als die Vorschubkraft. Die Zuführung des Aufgabematerials kommt zum Erliegen.

Sind die Elektroden hingegen zu weit entfernt, führt dies zu keiner bzw. zu geringer Aufladung der Partikel. Die Kunststoffpartikel verhalten sich dann auf der Trommel wie die Kupferpartikel. Es erfolgt keine Trennung. In nachfolgender Tabelle sind die optimalen Einstellungen des Koronawalzenscheiders zusammengefasst:

Einstellparameter	Grundeinstellung
Klappe links	15°
Klappe rechts	-30°
Trommel	40 RPM
Schwingförderer	Stufe 7
Elektrode	-22,5 kV
Elektrodendraht	6 cm Abstand von der Walzenoberfläche 55° von der Horizontalen durch den Walzenmittelpunkt
Elektrodenblech	8 cm Abstand von der Walzenoberfläche 45° von der Horizontalen durch den Walzenmittelpunkt

Tabelle 3: Optimale Einstellungen des Koronawalzenscheiders

2.4 Mögliche Arbeitsschritte für das Praktikum

2.4.1 Zerkleinerung

Von einer Zerkleinerung der Altkabel während des Praktikums ist aus folgenden Gründen abzuraten:

1. Brandgefahr und Rauchentwicklung aufgrund der Hitzeentwicklung in der Fritsch-Schneidemühle und Hammermühle
2. Extreme Staubbelastung und Staubablagerung im Labor
3. Lärmbelastung
4. Störanfälligkeit der Zerkleinerungstechnik aufgrund von Verklumpungen
5. Hoher Zeitaufwand beschränkt die Zeit für die Arbeit mit dem Koronawalzenscheider

2.4.2 Klassieren

Hingegen ist das Klassieren mit dem Zweideck-Siebmaschine sehr zu empfehlen. Nach einer Sicherheitsunterweisung ist das Gerät einfach zu bedienen. Das Klassieren erfordert wenig Zeit. Dabei sollten in der Zweideck-Siebmaschine bereits vor dem Praktikum die benötigten Siebe eingesetzt sein. Die vermischte Fraktion der Hammermühle kann auf die Partikelgrößen ≥ 4 mm, 4 mm und 1 mm mit einem Arbeitsgang getrennt werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass das Material langsam nachgeschüttet wird, um eine Doppelschichtbildung zu vermeiden.

2.4.3 Elektrostatische Trennung

1. <u>Elektrodenabstand</u>

Die Maschine arbeitet mit Hochspannung. Deshalb raten wir davon ab, für Teile, die sich hinter der Glasscheibe im Sicherheitsbereich befinden, Einstellmöglichkeiten für den Praktikanten anzubieten. Die Stromschlaggefahr ist in diesen Bereichen zu groß. Dies gilt insbesondere für die Einstellung der Ausrichtung der Elektroden zur Trommel.

2. <u>Trennblende</u>

Für die Einstellung der Klappenwinkel steht ein extra isolierter Schraubendreher zur Verfügung, um gefahrlos bei geschlossener Klappe von außen Einstellungen an den Blenden vorzunehmen.

3. Schwingförderer, Trommel und Elektrodenspannung

Die Einstellungen des Schwingförderers, der Trommel und Elektrodenspannung können auch während laufendem Betrieb verändert werden.

2.4.4 Dichtemessung

Zur provisorischen Schüttdichtemessung wurde ein Messzylinder mit 50 ml und ein Kleinschüttler benutzt. Der Zylinder wird, falls genügend Material vorhanden, bis 50 ml locker befüllt, anschließend auf den Kleinschüttler für 2 Minuten bei Punkt 4-5 verdichtet. Das Gewicht geteilt durch das Volumen ergibt die gesuchte Schüttdichte.

$$\rho_{Schüttung} = \frac{m_{Probe}}{V_{verdichtetes\ Volumen\ der\ Probe}} \qquad (1)$$

In dieser einfachen Weise wurde die Schüttdichte im Projekt bestimmt. Das Messgerät SMG 697 für normgerechte Schüttdichtebestimmung stand wegen seines hohen Anschaffungspreises (ca. 1380€) nicht zur Verfügung. Für das kommende Praktikum wird anhand der DIN Normen über die Metallwerkstatt das Messgerät SMG 697 gebaut.

Die Messung mit dem Schüttdichte-Messgerät SMG 697 nach DIN ISO 697 und EN ISO 60 ist folgendermaßen durchzuführen:

Zur Messung wird die Probe in einen Trichter gefüllt. Anschließend wird eine Klappe geöffnet und die Probe fällt in einen 100 ml Messbecher. Überschüssiges Probenmaterial wird von einem Blech um den Messbecher herum aufgefangen und mit einem gradkantigen Stab abgestreift. Die Dichte errechnet sich mit der Formel:

$$\rho_{Schüttung} = \frac{m_{Probe}}{V_{Messbecher}} \qquad (2)$$

Um eine Aussage über die Trennschärfe zu erhalten, wäre es nach der Theorie auch denkbar, durch vollständige Oxidation der organischen Bestandteile deren Anteil in der Kupferfraktion zu berechnen. Hierfür wurde eine Probe im Muffelofen bei 900°C für 2 Stunden geglüht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tiegelgewicht	25,1
Probengewicht vor dem Glühen	52,7
Probengewicht nach dem Glühen	54,3

Tabelle 4: Dichtemessung mit dem Muffelofen

Der Gewichtsanstieg kommt durch die verschiedenen Oxidations- bzw. Reaktionsprozesse zustande und lässt wegen den teils unbekannten im Kabelschrott vorhandenen organischen Materialien keine allgemeine Aussage über die Trennschärfe zu.

3 Trennung der CD Bestandteile

Abbildung 3: Trennversuch der CD-Rohlinge mit fliegenden Folienpartikeln

Die CD Rohlinge ließen sich sehr gut im MOCO-Shredder zerkleinern. Jedoch entwickelten die Datenträgerfolienschnippsel durch die elektrostatische Aufladung und ihrem geringen Eigengewicht sehr gute Flugeigenschaften und blieb nicht an der Trommel haften. Die Folie verteilte sich im Gehäuse und der Folienträger wurde in die Nichtleiter und teilweise in die Mischfraktion befördert. Somit war die Trennung unmöglich.

4 Trennung von Platinenschrott

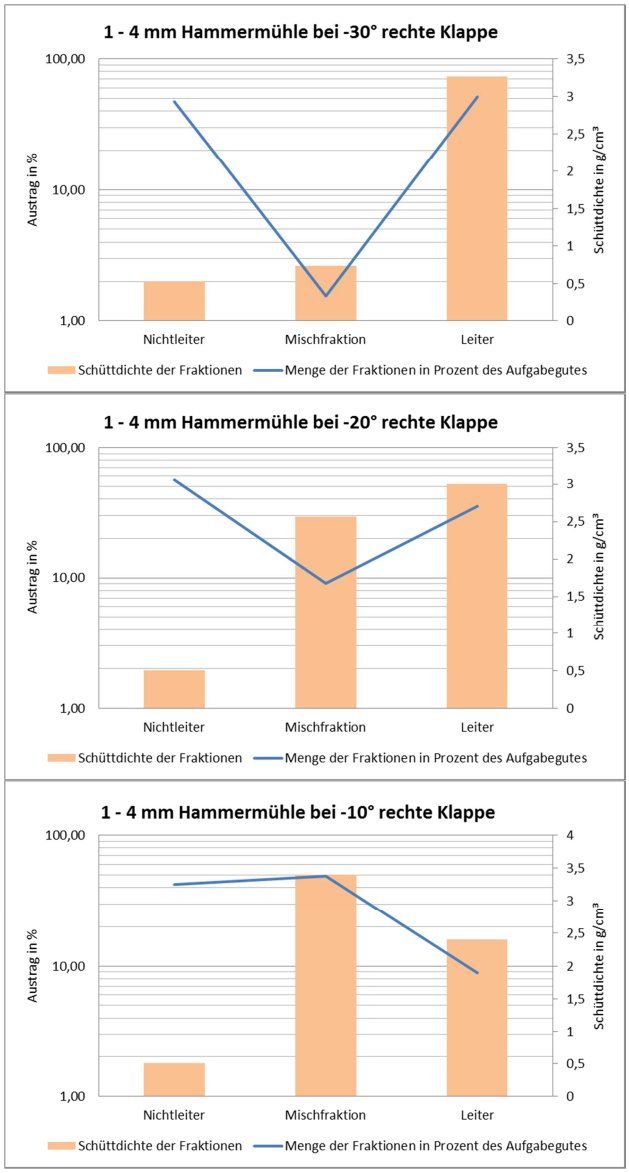
Nach vorangegangener Literaturrecherche wurden keine Versuche mit Platinenschrott gefahren. In den Kondensatoren, auf der Platine und im Lötzinn befinden sich giftige Schwermetalle wie Quecksilber und Blei, sowie andere Substanzen wie zum Beispiel PCB und giftige organische Verbindungen.

5 Zusammenfassung

Die im Zusammenhang mit diesem Projekt entworfene Praktikumsanleitung zielt auf die folgenden Arbeiten ab:

1. Elektrostatische Abscheidung
2. Schüttdichtemessung
3. Auswertung

Die einzelnen Gruppen werden über die Gruppennummer den drei verschiedenen Kornklassen und den zu variierenden Parametern zugeteilt. Um den Zeitaufwand des Praktikums abzuschätzen, wurde in dieser Arbeit ein Praktikum mit der Kornklasse 1 – 4 mm durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 zu sehen:



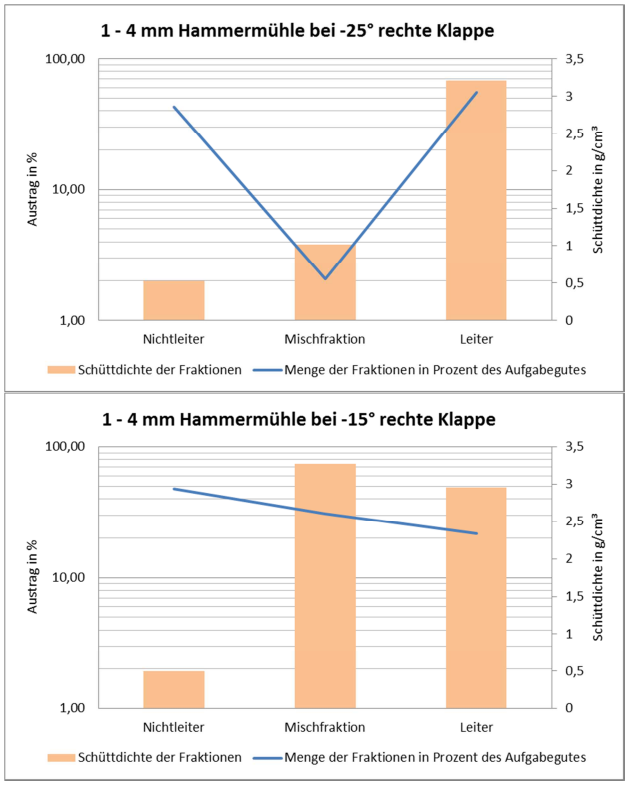


Abbildung 4: Graphische Auswertung eines Praktikumsdurchlaufs mit der Kornklasse 1 - 4 mm

Grundsätzlich benötigt jeder Versuch bei einer beliebigen Kornklasse die folgende Zeit:

Arbeitsschritt	Minuten
Elektrostatische Abscheidung	15 min
Schüttdichtemessung (parallel zur elektr. Abscheidung)	3 min

Abbildung 5: Zeitaufwand der einzelnen Arbeitsschritte

Für eine Praktikumsauswertung mit vier gefahrenen Versuchen setzt sich der Zeitaufwand wie folgt zusammen:

Arbeitsschritt	Minuten
Elektrostatische Abscheidung	4*15 min
Schüttdichtemessung (parallel zur elektr. Abscheidung)	4*3 min
Gesamt	1 Stunde 12 Minuten

Tabelle 5: Gesamter Zeitaufwand für ein Praktikum

Das vorbereitete Kabelmaterial wird in grünen Boxen gelagert. Vom Fritsch-Schneidemühlenmaterial stehen etwa 5 kg zur Verfügung, vom Hammermühlenmaterial ca. 9 kg.

6 Anhang

Praktikumsanleitung

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Auswertung der Trennergebnisse der vier Korngrößen 6
Abbildung 2: Koronawalzenscheider 7
Abbildung 3: Trennversuch der CD-Rohlinge mit fliegenden Folienpartikeln 10
Abbildung 3: Graphische Auswertung eines Praktikumsdurchlaufs mit der Kornklasse 1 - 4 mm 11
Abbildung 4: Zeitaufwand der einzelnen Arbeitsschritte 11

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozentuale Verteilung der Aufgabemenge in NLF, MF und LF 4
Tabelle 2: Schüttdichte der Fraktionen 4
Tabelle 3: Optimale Einstellungen des Koronawalzenscheiders 8
Tabelle 4: Dichtemessung mit dem Muffelofen 9
Tabelle 6: Gesamter Zeitaufwand für ein Praktikum 11