

Diplomarbeit

Aufbereitung von Magnetschrott aus der mechanischen Abfallbehandlung

erstellt für

Komptech GmbH

Vorgelegt von:

Matthias Reinalter

0135144

Betreuer:

Dipl.-Ing. Gernot Kreindl

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Leoben, 01. Juni 2009

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

DANKSAGUNG

Am Beginn möchte ich mich bei Herrn Josef Heissenberger und Herrn Rudolf Pretzler bedanken, die mit der Auftragserteilung die Diplomarbeit erst ermöglichten. Größten Dank gebührt auch Herrn Martin Wellacher, meinen Betreuer durch die Firma Komptech, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mit viel Geduld alle meine Fragen beantwortete. Ohne die Hilfe der Herren Anton V. Kuehberger, Marco Ortner und Harald Flössholzer wäre der Praxisbezug der Arbeit wohl nicht möglich gewesen und mir vieles verschlossen geblieben – dafür vielen Dank. Für die Betreuung durch das Institut will ich mich bei Herrn Gernot Kreindl bedanken.

Besonderen Dank gilt meiner Familie, speziell meinen Eltern, die mir mein Wunschstudium ermöglichten und nie mit Druck, sondern mit Vertrauen arbeiteten. Am wichtigsten ist ein großes Dankeschön an meine Freundin Carmen, die mich nicht nur nach Leoben sondern auch durchs Studium begleitete, mir stets eine feste Stütze war und immer an mich glaubte.

Kurzfassung

Aufbereitung von Magnetschrott aus der mechanischen Abfallbehandlung

Magnetschrott, der bei der mechanischen Aufbereitung von Siedlungsabfällen im Rahmen der Magnetscheidung anfällt, verursacht in letzter Zeit zunehmend Probleme. Vor allem die Schnittstelle zwischen dem Betreiber der mechanischen Abfallbehandlungsanlage und der nachfolgenden Aufbereitungsstufe mittels Shreddertechnik stellt sich dabei als maßgeblicher Faktor und somit wichtigster Ansatzpunkt heraus. Dementsprechend wurde über die Klärung und Beschreibung der wesentlichen Grundlagen, wie Zusammensetzung, Mengen und Verwertungswege in Österreich, eine Verbesserung der Situation durch Realisierung eines Zwischenschrittes entwickelt. Für diese Voraufbereitung von Magnetschrott sind sowohl die technischen als auch die betriebswirtschaftlichen Vorgaben definiert worden. Zusätzlich wurden für alle Beteiligten, vom Gesetzgeber bis hin zum Stahlwerksbetreiber, Empfehlungen abgeleitet, die eine bessere Handhabung der Fraktion Magnetschrott für alle bedeuten würde.

Abstract

Processing of magnetic scrap metal from mechanical waste treatment

Magnetic scrap metal, which is generated within the mechanical treatment of municipal solid waste, lately creates huge problems. A deciding factor is the interface between the operators of the mechanical treatment plant and the connected shredder plant next in line. For this reason the present thesis exemplifies how to advance the situation via implementation of an intermediate step. Thus it was necessary to describe the basics such as composition, quantities and recovery ways in Austria. According to this it was possible to define technical and economic demands to realise the suggested intermediate processing step. The last part of the thesis finally includes a number of introductions for all parties involved, which would improve the handling of magnetic scrap.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	3
2 RECHTLICHE GRUNDLAGEN	4
2.1 Rechtliche Problemfelder	4
2.2 Abfallverbringung	4
2.3 Abfallende	5
3 MAGNETSCHROTT	7
3.1 Definition	7
3.2 Zusammensetzung	8
3.3 Mechanische Abfallbehandlung mit Magnetscheidung	10
3.4 Magnetschrottaufkommen	13
3.5 Magnetschrottverwertung	17
4 AUFBEREITUNG	20
4.1 Shredder	20
4.2 Alternative Verfahren	24
4.3 Anforderungen der Stahlindustrie	26
4.3.1 Theorie	26
4.3.2 Praxis	30
4.4 Schrottpreis	31
5 VORAUFBEREITUNG VON MAGNETSCHROTT	34
5.1 Grundlagen für eine Kostenkalkulation	35
5.2 Anlegbarer Preis für Magnetschrott als Shreddervormaterial	36
5.3 Vorkalkulation – Szenario 1	41
5.3.1 Kostenkalkulation	41
5.3.2 Bewertung	43

5.4	Vorkalkulation – Szenario 2	46
5.4.1	Kostenkalkulation.....	47
5.4.2	Bewertung	47
	Möglichkeit 1: Aufbereitung um 1. Durchgang mit dem Shredder zu ersetzen	48
	Möglichkeit 2: Anreicherung des Magnetschrotts	50
5.5	Voraufbereitungsversuch	52
5.5.1	Versuchsablauf und Ergebnisse.....	53
5.5.2	Verfahrensschema und Kostenkalkulation	55
6	DISKUSSION.....	59
7	ZUSAMMENFASSUNG	62
8	VERZEICHNISSE	64
8.1	Literatur.....	64
8.2	Abkürzungsverzeichnis	66
8.3	Tabellen	68
8.4	Abbildungen	69
ANHANG.....	I

1 Einleitung

Im Zuge der mechanischen Aufbereitung von Siedlungsabfällen gehört es schon lange zum Stand der Technik auf magnetischem Wege eine Metallfraktion zu gewinnen, die mehr oder weniger mit Anhaftungen verunreinigt ist. Der folgende Recyclingweg führte im Laufe der Zeit vom direkten Einsatz im Hochofen über die Verbrennung in Abfallbehandlungsanlagen bis hin zur Aufbereitung mittels Shreddertechnik oder sogar eigens dafür entwickelten oder weiterentwickelten Aggregaten. Das Auf und Ab der Preise der letzten Jahre hat dazu beigetragen, dass die Teilnehmer an diesem Prozess zusehend uneins über die Bewertung der Qualität der Magnetschrotte und damit deren Erlöse wurden.

1.1 Problemstellung

Die stoffliche Verwertung von Abfällen wird maßgeblich durch zwei Faktoren, nämlich den Rohstoff- und Entsorgungspreisen, bestimmt. Der in dieser Arbeit betrachtete Magnetschrott aus der mechanischen Behandlung von Abfällen hat zwar innerhalb des gesamten Schrottaufkommens einen sehr geringen Stellenwert, gewinnt aber durch die steigende Zahl an Behandlungsanlagen immer mehr an Bedeutung. Der je nach Anlage und Technik variierende Anteil an nichtmetallischen Verunreinigungen stellt dabei das gravierende Problem für eine sinnvolle wirtschaftliche Verwertung dieser Fraktion dar. Der eigentliche Verwerter, nämlich das Stahlwerk, besteht auf jene Schrottqualitäten, die im Rahmen der europäischen Sortenliste zwischen der Stahlrecyclingwirtschaft und der Stahlindustrie vereinbart wurden. Diese Schrottsortenliste enthält sowohl allgemeine Bestimmungen über den Reinheitsgrad – sprich Eisengehalt – als auch anstrebare chemische Analysenwerte, die im Grunde nur der Schrottshredderbetrieb erreichen kann. Dieser wiederum kämpft mit dem Problem, dass mit den Anhaftungen die Kosten für die Entsorgung der Rückstände und der Aufbereitung generell steigen. Der Produzent der Magnetschrottfraktion versucht natürlich unter Berücksichtigung der aktuellen Rohstoffpreise seinen Wertstoff bestmöglich abzugeben. In diesem Spannungsfeld setzt die vorliegende Arbeit an.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen der Arbeit soll ein systematischer Überblick über die derzeitige Verwertungssituation der Fraktion Magnetschrott in Österreich geben werden. Dies erfordert erstens den Anfall von Magnetschrott zu quantifizieren und zweitens den Verwertungsweg nachzuzeichnen. Dabei sollen die wichtigsten Einflussfaktoren und Anforderungen auf die Verwertung identifiziert und dargestellt werden. Diese Erkenntnisse stellen die Grundlage dar, um zu versuchen, in wirtschaftlich sinnvoller Weise die Lücke zwischen Magnetschrottproduzenten und dessen Verwerter durch einen weiteren Aufbereitungsschritt zu schließen.

2 Rechtliche Grundlagen

Die kürzlich in Kraft getretene neue Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG beinhaltet die Einführung einer neuen Fünf-Stufen-Hierarchie im Bereich der europäischen Abfallbewirtschaftung. Zwischen der nach wie vor zu bevorzugenden Abfallvermeidung und der letzten Option einer sicheren Lagerung bilden die so genannten „drei R“ – Reuse, Recycling und (Energy)recovery – die Hierarchiestufen. Die Lebenszyklusanalyse soll dabei gewährleisten, die sinnvollste Stufe für gewisse Abfallstoffe zu finden. Dies gilt vor allem für die Entscheidung Wiederverwendung oder Recycling. Speziell das effiziente Recycling von Metallen generiert enorme ökonomische und ökologische Einsparungen für die Stahlproduktion. Einen kleinen Anteil verkörpert dabei jener Schrott, der bei der mechanischen Abfallbehandlung gewonnen wird. Dessen Menge wird voraussichtlich in Zukunft durch das Behandlungsgebot anwachsen. Anlagen, die Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle für eine folgende biologische, thermische oder sonstige Behandlung aufbereiten, unterliegen der Richtlinie für mechanisch-biologische Anlagen (MBA-Richtlinie), die den Stand der Technik und damit die Magnetabscheidung für Eisenmetalle festhält. Die damit gewonnene Fraktion heißt unter anderem Magnetschrott und generiert rechtlich gesehen einige Probleme für die Praxis. [1, Artikel 4], [2, S. 15-17]

2.1 Rechtliche Problemfelder

Praktisch existiert für Magnetschrott keine rechtliche Grundlage über die diese Fraktion eine Definition oder eine Qualitätseinstufung erfährt. Für die Praxis birgt dieser Umstand massive Probleme im Umgang mit Magnetschrott. Dies beginnt schon mit der Zuordnung zu einer gewissen Schlüsselnummer. Da die Abfallart „Magnetschrott“ nicht in der ÖNORM S 2100 zu finden ist, werden die unterschiedlichsten Schlüsselnummern für die Einordnung herangezogen (vgl. Kapitel 3.1). Die am meisten zur Anwendung gelangende Schlüsselnummer, 35103 Eisen- und Stahlabfälle verunreinigt, umfasst so viele Abfallstoffe, dass der Magnetschrott wohl nur als eine Art Sorte aus dieser Nummer betrachtet werden kann. Neben den dadurch entstehenden statistischen Problemen über die Erfassung der Mengen an Magnetschrott fehlen weiters Qualitätskriterien, nach denen der Magnetschrott definiert oder gliederbar ist. Besondere Relevanz haben diese Erwähnungen für die Abfallverbringung, die im Fall von Schrott durch dessen Verunreinigungsanteil bestimmt wird. [3]

2.2 Abfallverbringung

Seit Mitte 2007 regelt das Zweilistensystem der EG-Abfallverbringungsverordnung (Anhang III – Grüne Abfallliste, Anhang IV – Gelbe Abfallliste) die grenzüberschreitende Verbringung von Abfällen. Dabei spiegelt die Grüne Liste jene Abfälle wieder, die bei Verwertung dieser, keiner Notifizierungs- und Bewilligungspflicht unterliegen. Dennoch sind zumindest die laut Verordnung verpflichtenden Unterlagen mitzuführen. Somit benötigen eine Notifizierung und Bewilligung durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) erstens Abfälle der Grünen Liste, die zur Beseitigung verbracht

werden und sämtliche Abfälle die in der Gelben Liste angeführt sind. Einige Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) haben, ähnlich manchen Drittstaaten, auch für die Verwertung von Abfällen der Grünen Liste Übergangsbestimmungen für die Einfuhr.

Im Rahmen dieser Arbeit ist im Besonderen die Handhabung von Eisen- und Stahlschrott bei der Verbringung von Bedeutung. Da mit der Europäischen Stahlschrottsortenliste (ÖNORM S 2080-3, Ausgabe 2002-07-01, vgl. Kapitel 4.3) Qualitätsanforderungen für Eisenschrotte vorliegen, können jene Schrotte, die den Anforderungen der Sortenliste genügen, unter die Grüne Liste gereiht werden. Selbstverständlich dürfen gefährliche Stoffe nicht dazu führen, dass ein Gefahrenmerkmal erfüllt wird.

Für Müllverbrennungsschrott (MVA-Schrott), der innerhalb der Schrottsortenliste seine Definition findet, bedeutet dieser Umstand, dass Anhaftungen nicht-metallischer ungefährlicher Materialien mit kleiner 8% begrenzt werden und bei Überschreitung eine Notifizierungs- und Bewilligungspflicht besteht. Demgegenüber fehlt für Magnetschrott die Sortendefinition, obwohl er am Markt vorhanden ist und seinen Absatz findet. Daher wurde im Zuge der Neufassung des Kapitels 5.3 des Bundesabfallwirtschaftsplans (BAWP) 2006 die Fraktion Magnetschrott explizit erwähnt und mit der Beifügung versehen, dass ebenfalls die 8% Grenze anzuwenden sei. Dieser Richtwert, der übrigens für NE-Metallschrotte mit 10% festgelegt wurde, bedeutet gleichzeitig, dass für Magnetschrotte, die mehr als 8% nicht gefährliche Störstoffe oder Verunreinigungen aufweisen, ebenfalls eine Notifizierungs- und Bewilligungspflicht besteht. Leider lässt der Vergleich der Zahlen der bewilligten Notifizierungen mit den berechneten Anfallmengen (vgl. Kapitel 3.4) und bekannten Bearbeitungsmengen für Österreich nicht ausschließen, dass einiges Material Österreich ohne entsprechende Genehmigung verlässt. [4, S. 5], [5, S. 284, 296], [6, S. 7-9]

2.3 Abfallende

Ein neuer wesentlicher Aspekt der sich durch den Erlass der Abfallrahmenrichtlinie (ARRL) im Bereich der Schrottwirtschaft aufgetan hat, ist die Frage nach der Festlegung des Endes der Abfalleigenschaft. Bisher setzte nach europarechtlichem Verständnis das Ende der Abfalleigenschaft für Schrott auch das Ende des Verwertungsverfahrens (=Schmelze) voraus. Artikel 6 Abs. 1 der neuen ARRL ermöglicht nun aber den Output von Verwertungs- bzw. Recyclingverfahren mittels spezifischen Kriterien von der Abfalleigenschaft zu entbinden. Die Bedingungen sind nachfolgend wiedergegeben:

- a. *„Der Stoff oder Gegenstand wird gemeinhin für bestimmte Zwecke verwendet;*
- b. *es besteht ein Markt für diesen Stoff oder Gegenstand oder eine Nachfrage danach;*
- c. *der Stoff oder Gegenstand erfüllt die technischen Anforderungen für die bestimmten Zwecke und genügt den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse und*
- d. *die Verwendung des Stoffs oder Gegenstands führt insgesamt nicht zu schädlichen Umwelt- oder Gesundheitsfolgen.*

Die Kriterien enthalten erforderlichenfalls Grenzwerte für Schadstoffe und tragen möglichen nachteiligen Umweltauswirkungen des Stoffes oder Gegenstands Rechnung.“
[1, Artikel 6]

Die Festlegung spezieller „EU-Kriterien“ wird für einige Abfallstoffe, darunter auch Metall in Betracht gezogen. Wichtig ist dabei zwischen Neuschrott, der direkt beim Produktionsprozess anfällt, und Altschrott, der nach seiner bestimmungsgemäßen Verwendung gesammelt wird, zu unterscheiden (vgl. Kapitel 3.4). Den Neuschrott als Produkt und nicht als Abfall zu sehen, ist aufgrund seines Wertstoffwertes nicht all zu schwierig. Natürlich darf auch dieser über kein abfalltypisches Gefährdungspotential verfügen. Dagegen ist Altschrott bei seinem Anfall sicher weiterhin als Abfall einzustufen. Es besteht aber jetzt die Möglichkeit, dass die Aufbereitung von Altschrott – und somit auch von Magnetschrott – im Sinne der definierten Qualitäten der europäischen Schrottsortenliste dazu führen könnte, dass Altschrott seine Abfalleigenschaft verliert. Dies wiederum hätte zur Folge, dass aufbereiteter Schrott beim Verwerten in der Eisen- und Stahlindustrie den Anforderungen aus REACH für Zubereitungen unterliegt. Zur Umsetzung der ARRL haben die Mitgliedsstaaten zwei Jahre Zeit und nationale Alleingänge für die Festlegung des Abfallendes sollten tunlichst vermieden werden. [1, Artikel 6], [7, S. 37-43]

3 Magnetschrott

Um in das Thema Magnetschrott einzuführen, bietet es sich an, am Beginn mit der Darstellung einer typischen Fraktionsansicht zu starten (vgl. Abbildung 1). Diese verdeutlicht die Problematik der Heterogenität der aufzubereitenden Fraktion wohl am deutlichsten und lässt das Problem einer einheitlichen Definition leicht erkennen. Dennoch wird folgend versucht, eine Definition für Magnetschrott zu erstellen.



Abbildung 1: Typische Magnetschrottfraktion

3.1 Definition

Mit dem Begriff „Magnetschrott“ wird in dieser Arbeit die Summe der in Siedlungsabfällen enthaltenen ferromagnetischen Anteile bezeichnet, die bei der mechanischen Abfallaufbereitung mittels Magnetabscheidung gewonnen wird. [8, S. 3]

Da, wie vorhin erwähnt, für diese spezielle Fraktion noch keine einheitliche Benennung geschaffen wurde, finden in Österreich häufig auch die Bezeichnungen Fe-Schrott, MBA-Schrott, Müllschrott, Magnetseparationsschrott oder einfach Eisenmetallschrott Verwendung. In der Praxis wird Magnetschrott derzeit unter die Schlüsselnummer 35103 Eisen- und Stahlabfälle verunreinigt gereiht, obwohl dafür, wenigstens für MBAs, eine eigene Abfallschlüsselnummer kreiert wurde. Laut ÖNORM S 2100 wird unter 91305 die Metallfraktion aus der Sortierung und Aufbereitung von Siedlungsabfällen (z.B. Schrott) aus der MBA subsumiert. Der europäische Abfallkatalog (EAK) regelt mit dem Abfallcode 191202 die Einstufung für alle Eisenmetalle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen. [3], [9, Anlage 2]

3.2 Zusammensetzung

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Heterogenität des Magnetschrotts im Laufe der Behandlungskette eine Abnahme erfährt und dadurch die Erlöse sehr stark variieren können. Im Rahmen einer Studie wurde ein Sortierkatalog für die Laborbestimmung der wesentlichen Gemengeteile vorgelegt, der sehr deutlich zeigt, wie inhomogen diese Fraktion aufgebaut ist (vgl. Tabelle 1). [10, S. 33]

Tabelle 1: Sortierkatalog für Analyse von Magnetschrott [11, S. 61]

Bezeichnung	Beschreibung	Beispiele
Eisen mit Verunreinigungen	Teile aus nicht legierten Stählen samt ihren nicht leicht entfernbaren Verunreinigungen und Verbunden; frei von oder nur minimale Bedeckung mit Beschichtungen, die eines der zu untersuchenden Elemente in hoher Konzentration enthalten	Fe-Verpackungen (Dosen, etc.) Nägel und Schrauben sofern völlig mit Rost überzogen, alle anderen völlig verrosteten Teile
„Konzentrat“	alle Teile, die einer weiteren Aufarbeitung bedürfen: Legierte Stähle; mit Metallen überzogene Stähle (Zink, Nickel, Chrom), Materialverbunde, die eines der untersuchten Elemente in hoher Konzentration enthalten können	Bestecke, Küchengeräte und Werkzeuge aus hoch legierten Stählen z.B. Nirosta; Batterien; Verzinkte, vernickelte oder verchromte Stahlteile z.B. Schrauben, Nägel, Scharniere, Blechstücke, etc.
Weich	alle weichen Materialien, die ohne großen Aufwand separiert werden können	Kunststofffolien, Papier und Karton oder Textilien (oft in gequetschten Dosen eingeklemmt); Holz
Feinfraktion	Sortierrest mit einer maximalen Korngröße von ca. 10 mm, frei von glänzenden Metallteilchen und Teilchen, die sich mit einem Magneten separieren lassen	„Schmutz“, größtenteils undefinierbares Zerreibsel
Mineralisch	mineralische Bestandteile in einer Körnung > 0,5 mm	Scherben aus Glas, Porzellan; Steine, Ziegelstücke, etc.

Die Studie förderte auch zu Tage, dass zwar ein eindeutiger Lenkungseffekt bei Eisen über die Magnetabscheidung festzustellen ist, der Eisengehalt im Magnetschrott aber sehr stark an die Anlagentechnik gekoppelt ist. Tabelle 2 bietet einen Überblick über die Bandbreite der Fe-Anteile von untersuchten Magnetschrotten aus verschiedenen Anlagen. [11, S. 236]

Tabelle 2: Vergleich der Eisengehalte in g/kg Trockensubstanz (TS) [11, S. 238]

	Oberpullendorf 1	Oberpullendorf 2	Kirchdorf	Wien
Fe-Schrott I	700	700	680	900
Fe-Schrott II	640	640	–	–

Dabei ist zu erwähnen, dass sich die Möglichkeit einer alleinigen optischen Bewertung der Verunreinigungen der Fraktion, aufgrund der Angabe der Gehalte in Massenprozent, in Grenzen hält (vgl. Abbildung 1). Sofern der Abnehmer des Schrotts keinen eigenen Ausbringungsversuch mit der jeweiligen Fraktion durchführt, können sich die Verhandlungen über die Preisgestaltung für beide Seiten als schwierig herausstellen.

Aber nicht nur der stark variierende Eisengehalt sondern auch eine Vielzahl von Störstoffen, die entweder dem Lenkungseffekt der Magnetabscheidung unterliegen oder ungewünschte Anhaftungen darstellen, verursachen Probleme bei der weiteren Aufbereitung, die den Anforderungen der Stahlindustrie genügen will. Für einige österreichische Shredderbetriebe sind dabei mehr oder weniger besonders Störstoffe wie Batterien (Schwermetalle), Kupfer (Cu), Weißblechdosen (Sn) und der hohe Abfallanteil, der u. a. über die thermische Fraktion (SLF) entsorgt wird, hervorzuheben.

Verschiedene Stoffflussanalysen konnten einen eindeutigen Transfer von Akkumulatoren (Cadmium (Cd)) und Knopfzellen (Quecksilber (Hg)) bei der mechanischen Abfallaufbereitung mit effizienten Magnetabscheidern in die Eisenfraktion belegen. Die Gehalte von Batterien im Siedlungsabfall reichen von 500-600 g/t und sind dabei für 65% der Nickel- und 85% der Cadmiumfracht verantwortlich. Eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt dabei der Aufschluss der Akkupacks durch die Zerkleinerung. Infolge des Gewichtverlusts werden die vereinzelt Batterien vom Magnet besser abgeschieden. Tabelle 3 verdeutlicht für zwei Magnetschrottanalysen exemplarisch die zwar prozentual sehr niedrigen, aber dennoch als wesentliche Störstoffe identifizierten, Gehalte an Batterien. Aber nicht nur Akkumulatoren auch die gute Magnetabscheidung von rostfreien Stählen erhöht die Nickel- bzw. Chrom-Fracht im Fe-Schrott. [11, S. 81-82, 230-241], [12, S. 43]

Tabelle 3: Magnetschrottanalyse [12, S. 40-41]

Fraktion	Magnetschrott 1 Anteil [%]	Magnetschrott 2 Anteil [%]*
Eisen	75,6	59,3
Nichteisenmetalle	1,2	1,3
Brennbares	19,2	34,6
Batterien	0,4	0,7
Feinanteil < 10mm	3,6	4,2
Inert	0,0	0,0

* gerundet

Kupfer findet seinen Weg über Kabel, Rohre, Bleche und Legierungen in den Magnetschrott. Obwohl bei der mechanischen Abfallbehandlung eine Anreicherung von Kupfer in der heizwertreichen Fraktion feststellbar ist, sorgen schon geringste Kupfermengen dafür, dass die geforderten Werte der Stahlindustrie überschritten werden. Dieselbe „Grenzwertproblematik“ betrifft die mit Zinn überzogene Weißblechdose, die weiters bei optischer Beurteilung des Magnetschrotts durch ihre Korrosionsschutzwirkung negativ hervorsticht. [11, S. 234-235]

Neben Metallgehalt bzw. Reinheitsgrad und chemischer Zusammensetzung werden Schrottsorten auch über deren Schüttdichte definiert, die wesentlich von jenen für Magnetschrotte abweichen. Tabelle 4 stellt die Anforderungen der Stahlindustrie laut Schrottsortenliste den durchschnittlichen Gehalten aus Magnetschrottanalysen gegenüber. [6, S. 7-9]

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Anforderungen der Stahlindustrie mit durchschnittlichen Magnetschrottzusammensetzungen [6, S. 7-10], [8]

Parameter	Anforderungen der Stahlindustrie (Angestrebte Analysenwerte)	Magnetschrott
Eisengehalt [Massen-%]	≥ 92	60-90
Schüttdichte [t/m^3]	$> 0,9$	0,3-0,5
Kupfer [%]	$< 0,25$	0,35
Zinn [%]	$< 0,02$	0,45

3.3 Mechanische Abfallbehandlung mit Magnetscheidung

Der Verfahrensschritt Magnetscheidung ist im Rahmen der mechanischen Aufbereitung von Siedlungsabfällen Stand der Technik. Dabei wird der Faktor der unterschiedlichen Magnetisierbarkeit in externen Magnetfeldern (= magnetische Suszeptibilität) der zu trennenden Komponenten als Trennmerkmal genützt. Tabelle 5 ordnet einzelne Metalle und Legierungen nach ihren magnetischen Eigenschaften ein, die für das Recycling durch Magnetscheidung wesentlich sind.

Tabelle 5: Magnetische Eigenschaften von Metallen und Legierungen [13, S. 656]

A) stark magnetisch
- Stähle, und zwar
<ul style="list-style-type: none"> • un-, niedrig- und mittellegierte Stähle • einige hoch legierte Stähle wie Cr-hochlegierte Stähle, Schnellarbeitsstähle, Kaltarbeitsstähle, hitze- und zunderbeständige Cr-Al- sowie Cr-Si-Stähle
- Eisengusswerkstoffe
- Nickel
- Ni-Cu-Legierungen mit $> 65\%$ Ni
B) schwach magnetisch
- Kupfer-Mehrstoff-Gusslegierungen
C) nicht magnetisch
- Aluminium, Magnesium, Kupfer, Zink, und Zinn sowie die meisten ihrer Legierungen
- hoch legierte Stähle

Als Grundprinzip gilt, dass ein magnetisches Teilchen (Wertstoff) dann abgetrennt werden kann, wenn die magnetischen Kräfte (F_M), die auf das Teilchen im Wirkungsbereich ausgeübt werden, größer sind als die Summe der entgegengesetzten Kräfte (F_i), wie Schwerkraft, Widerstandskraft, Zentrifugalkraft usw. Die Kenntnis der Kraftwirkung des Magnetfeldes, die mit zunehmendem Abstand zwischen Poloberfläche und Trenngut abnimmt, und das Identifizieren der jeweiligen Gegenkräfte sind daher die ausschlaggebenden Faktoren für den Erfolg der Magnetscheidung.

Kontinuierlich arbeitende Überbandmagnete zur Eisenabscheidung, die die häufigste Bauart in der mechanischen Aufbereitung von Siedlungsabfällen darstellen, heben das abzutrennende Teilchen aus dem Gutstrom heraus. Abbildung 2 zeigt schematisch das Trennmodell für Überbandmagneten.

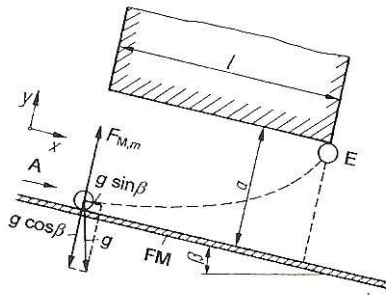


Abbildung 2: Trennmodell für Überbandmagneten [13, S. 666]

Mit Hilfe dieser Modellvorstellung und der Vorgabe, dass das abzutrennende Teilchen den Magneten bis zum Ende seiner Ausdehnung erreicht haben muss, folgt die kommende Beziehung:

$$F_{M,m} [\text{N}] \geq g + \frac{2 a v^2}{l^2} \quad (1)$$

$F_{M,m}$	=	massenbezogene magnetische Kraft [N]
g	=	Erdbeschleunigung [m/s^2]
a	=	Abstand [m]
v	=	Geschwindigkeit [m/s]
l	=	Länge Wirkungsbereich [m]

Die massenbezogene magnetische Kraft muss demnach größer sein als die Schwerebeschleunigung (g) und ein auf die Massenträgheit zurückzuführender Beschleunigungsanteil. Dessen Anteil sinkt bei Verlängerung des Wirkungsbereiches des Magneten und steigt mit der Bandgeschwindigkeit und dem Abstand zur Poloberfläche. Zusätzlich muss die Widerstandskraft berücksichtigt werden, die das Ausheben der Eisenteile, die im Gutstrom eingebettet sind, hervorruft. Auch die Größenverteilung im Gutstrom spielt eine Rolle für die Effizienz der Magnetscheidung.

Ein Unterscheidungsmerkmal von Überbandmagneten, bei denen ein umlaufendes Band die ausgehobenen Stücke austrägt, ist deren Anordnung zum Gutförderband, die an gewisse Fördergeschwindigkeiten gekoppelt ist. Bei Querbandanordnung sind Fördergeschwindigkeiten bis zu 2 m/s, für Überkopfanordnung Geschwindigkeiten bis zu 2,5 m/s und für Vorkopfanordnung Geschwindigkeiten $> 2,5$ m/s möglich (vgl. Abbildung 3).

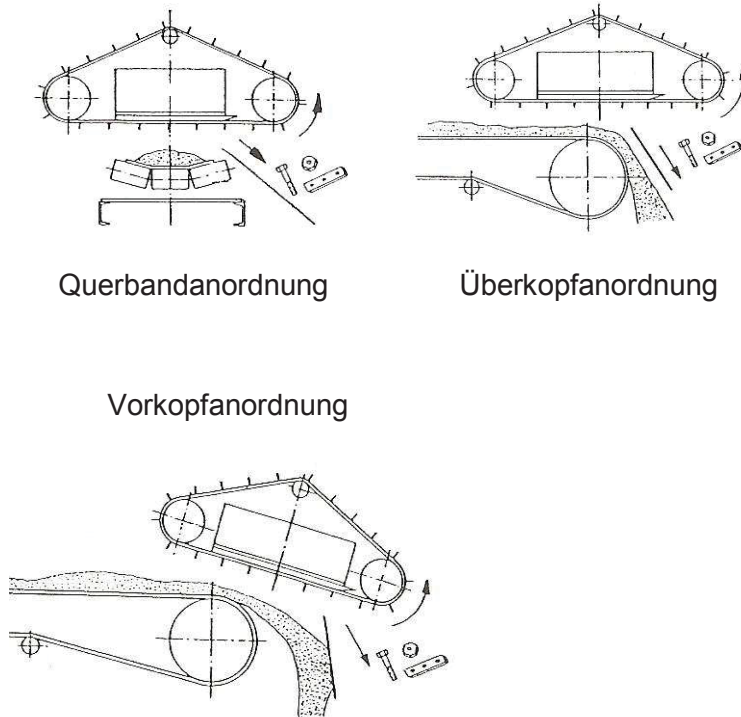


Abbildung 3: Anordnung von Überbandmagneten [13, S. 686]

Das gleichbleibende nicht wechselnde Magnetfeld vom Überbandmagnetscheider soll von nicht magnetischen Bauteilen im Wirkungsbereich umgeben sein. Das Gutförderband kann gemuldet und bis 20° ansteigend geneigt sein. Die Magnetscheidung erzielt generell bessere Ergebnisse bei Anordnungen in Förderrichtung (Längsaustrag) im Vergleich zum Queraustrag. [13, S. 651-687], [14, S. 191-198]

Die Metallabscheidung bei mechanischen Siedlungsabfallbehandlungsanlagen unterliegt einem Spannungsfeld, das durch zwei unterschiedliche Ziele geprägt wird. Einerseits würde eine saubere Magnetschrottfraktion als Wertstoff zu höheren Erlösen führen, dadurch aber gegebenenfalls der Ersatzbrennstoff (EBS) eine höhere Kontamination an Metallen aufweisen. Wird auf ein metallfreies EBS-Produkt hingearbeitet muss wohl oder übel eine stärker verunreinigte Magnetschrottfraktion in Kauf genommen werden. Abbildung 4 verdeutlicht diese Problematik, die wohl auf Grundlage von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen je nach Marktgegebenheiten gelöst werden wird. [15]

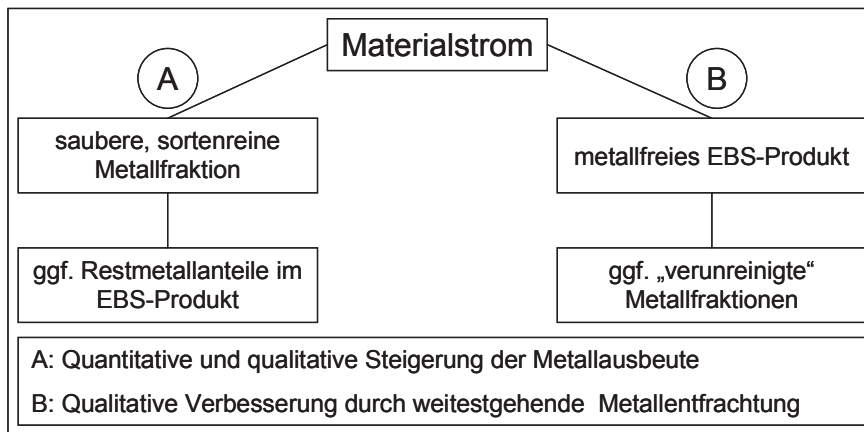


Abbildung 4: Optimierungsansatz Metallabscheidung [15]

3.4 Magnetschrottaufkommen

Seit der Verwendung von Metall wird auch deren Recycling praktiziert. Dabei spielen vor allem ein vorhandener Markt für Sekundärrohstoffe und eine möglichst sortenreine Erfassung der Altmetalle eine wesentliche Rolle. Der Markt für Altmetalle hat in letzter Zeit durch die Verknappung der vorhandenen Ressourcen, durch das Auftreten neuer Marktteilnehmer und durch gesetzliche Vorgaben bezüglich der Forcierung eines gelebten Kreislaufwirtschaftsystems einen starken Aufschwung erlebt. Nicht zuletzt die CO₂-Problematik führt dazu, dass die Rohstoffrückgewinnung in der Stahlindustrie, die im Durchschnitt pro Tonne Stahlschrott 1,5 t Erz und 0,5 t Brennstoff (Kohle, Koks, Schweröl) einspart, von Jahr zu Jahr ansteigt. [18, S. 2], [17, S. 1-1 – 1-2]

Der Menge von Anfallstellen für Schrott stehen in Österreich nur fünf Stahlwerke als Verwerter gegenüber. Dazwischen bildete sich eine Stahlrecyclingwirtschaft aus, die die Bereiche Beschaffung und Transport, Lagerhaltung für den schwankenden Bedarf der Stahlwerke und die Aufbereitung bearbeiten. Die Aufbereitung gliedert sich hauptsächlich in hydraulische Großscheren und Großpressen oder Shreddern von denen in Österreich derzeit sechs Anlagen mit insgesamt 355.000 t in Betrieb sind. Diese Aufbereitungsaggregate sind in der Lage, die Anforderungen der Stahlindustrie an den Schrott zu erreichen. [17, S. 2-2 – 2-6], [5, S. 91]

Prinzipiell wird das Schrottaufkommen hinsichtlich der Quelle in drei Arten unterteilt [17, S. 2-7]:

- Eigenschrott: sauberer Schrott, der bei der Produktion in Hütten-, Stahl- und Walzwerken anfällt.
- Neuschrott: entsteht in der stahlverarbeitenden Industrie;
- Altschrott: durch aufwendige Trennung von ausgedienten Verbrauchs- und Industriegütern wieder gewonnener Rohstoff.

Im Rahmen dieser Arbeit ist somit im Besonderen das Altschrottaufkommen und dabei speziell der Anteil von Metallen im Abfall von Interesse (vgl. Kapitel 3.4). Altschrott erfuh in

den letzten Jahren ein stetiges Wachstum. Ausschlaggebend für die Menge an Altschrott und der Grund für die Schwierigkeit dessen Aufkommen zu prognostizieren ist die Lebensdauer der unterschiedlichen Stahlerzeugnisse, die von wenigen Wochen (Dose) über zehn bis 15 Jahre (Auto) bis hin zu 100 Jahren in Gebäuden reichen kann. Tabelle 6 zeigt die Verteilung des Altschrottaufkommens. Dabei ist zu erkennen, dass der prozentuale Anteil am Gesamtanfall zwar sehr gering ausfällt, dennoch wird durch den Ausbau der Behandlung von Abfällen die Magnetschrottfraktion – sei es aus mechanischen oder thermischen Anlagen – stetig an Bedeutung gewinnen. Somit muss auch deren wirtschaftliche Aufbereitung für einen reibungslosen Einsatz im Stahlwerk für die Zukunft gelöst werden. [17, S. 3-3 – 3-5], [16, S. 29]

Tabelle 6: Altschrottaufkommen [16, S. 30]

Altschrott	[%]
Maschinen- und Anlagenschrott Abbruch- und Abwrackschrott Schienen- und Eisenbahnmaterial	ca. 70-75
Automobilschrott	ca. 10-15
Elektronikschrott (Haushaltsgeräteschrott)	ca. 5
Weißblechschrott	ca. 5
Zivilisationschrott aus Konsumgütern	ca. 5

Die Fraktion Metall im Siedlungsabfall unterliegt sehr vielen Parametern. So wie allgemein die Zusammensetzung mit dem Sammelgebiet (Stadt, Land, Mischgebiet), der sozialen Struktur, Art der Raumbeheizung und anderen Faktoren sehr stark korreliert, variiert dementsprechend auch der Metallgehalt im Restmüll. Laut Bundesabfallwirtschaftsplan 2006 und verschiedener Siedlungsabfallanalysen kann davon ausgegangen werden, dass die durchschnittlichen Metallgehalte im österreichischen Siedlungsabfall zwischen 3-4 Massenprozent (Massen-%) liegen. Dies bedeutet bei einem Aufkommen von 1,38 Mio. t Restmüll und 847.000 t hausmüllähnlicher Abfälle aus der Produktion, dem Handel und Gewerbe einen Magnetschrottanfall durch diese beiden Fraktionen von ca. 78.000 t. Eine für den Gesamtschrottanfall ebenfalls wesentliche Fraktion, die eine mechanische Aufbereitung erfährt, ist der Sperrmüll. Bei einem durchschnittlichen Metallgehalt von 6-8% erhöht sich somit der Gesamtmagnetschrottanfall in Österreich auf ca. 92.000 t für das Jahr 2004 (vgl. Tabelle 7). [11, S. 261], [5, S. 22-24, 82], [19, S. 37]

Tabelle 7: Gesamtmagnetschrottanfall für Österreich 2004

	[t]	[%]	[t]
Siedlungsabfall	1.380.000	3,5	48.300
Gewerbeabfall	847.000	3,5	29.645
Sperrmüll	236.400	7	14.184
Summe			92.129

Der Einsatz von ca. 338.300 t Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle in der mechanisch-biologischen Behandlung und die Annahme einer gänzlichen mechanischen

Aufbereitung der Gewerbeabfälle und des Sperrmülls in Österreich im Jahr 2004 ergibt bei vorsichtiger Schätzung mit einem im Durchschnitt 3,5%-igen Anteil an Verpackungs- und Kleinmetallen bzw. 7%-igen Anteil an Metallen im Sperrmüll im aufzubereitenden Abfall ein Potential von mindestens 55.000 – 60.000 t Magnetschrott. Nicht mit einberechnet ist dabei der ebenfalls eingesetzte Klärschlamm und ein geringer Beitrag von sonstigen Abfällen. Dessen Beitrag ist aber bei Klärschlamm mit einer Konzentration von 8,1 g Fe/kg TS vernachlässigbar. [5, S. 35], [11, S. 110]

Eine zweite Möglichkeit den Magnetschrottanfall in Österreich abzuschätzen bietet die Berechnung über die Kapazitäten zur mechanischen Aufbereitung (MA und MBA) in Österreich. Diese Vorgehensweise kann als Kontrolle oder Bestätigung der Zahlen dienen.

Nicht nur die lange Tradition von mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) in Österreich sondern vor allem die Vorgaben der Deponieverordnung haben dazu geführt, dass in den letzten Jahren der Ausbau der Kapazitäten zur Behandlung von Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen in MB-Anlagen massiv forciert wurde. Die 2006 in Betrieb befindlichen Anlagen wiesen eine Gesamtkapazität von 689.350 t auf. Im Jahr 2005 wurden in den damals noch 16 Anlagen (vgl. Tabelle 8) ca. 482.000 t Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle sowie 51.000 t Gewerbeabfälle behandelt. Der Rest waren Klärschlämme (34.000 t), Sperrmüll (33.000 t) und sonstige Abfälle (12.500 t). [20, S. 13], [5, S. 94]

Tabelle 8: Kapazitäten zur MBA von Restmüll [5, S. 94]

Standort	Kapazität 2005 [t/a]
Aich-Assach	15.250
Allerheiligen	17.100
Fischamend	27.000
Frohnleiten	65.000
Frojach-Katsch	4.000
Halbenrain	70.000
Kufstein	9.500
Liezen	25.000
Linz	85.000
Neunkirchen	28.500
Oberpullendorf	82.000
Ort im Innkreis	15.000
Siggerwiesen	140.000
St. Pölten	42.000
Wiener Neustadt	24.000
Zell am See	40.000
Summe	max. 689.350
Lavant*	17.000
Ahrental*	116.000

* in Errichtung bzw. geplant/gebaut

Der Anteil der zur stofflichen Verwertung geeigneten Fraktionen stellte mit 2,5% im Jahr 2005 zwar einen kleinen Prozentsatz vom Gesamtoutput dar, es ist aber dennoch ein Trend zum Ausbau der stofflichen Verwertung durch verbesserte Abtrennung zu erkennen. Der Eisenmetallschrott ist dabei mit einem Mindestaufkommen (ohne Vorsortierung) von 10.655 t (13 bilanzierte MB-Anlagen 2005) die mengenmäßig überwiegende Fraktion. Zum Vergleich erzeugten die 61 deutschen Anlagen etwa 160.000 t Eisenmetallschrott im Jahr 2007. [20, S. 184], [21, S. 9]

Auch die mechanische Abfallbehandlung besitzt in der österreichischen Abfallwirtschaft einen sehr großen Stellenwert. Mit einer Gesamtkapazität von 1.224.000 t bei 24 Anlagen werden Siedlungsabfälle und/oder Gewerbeabfälle, Sperrmüll und getrennt gesammelte Verpackungsabfälle im wesentlichen für eine weitere thermische Behandlung oder stoffliche Verwertung aufbereitet. Eine Bilanz über sieben MA-Anlagen im Jahr 2006 wies einen Output von 9.178 t Fe-Metalle aus. [2, S. 7, 100]

Eine Abschätzung des gesamten Magnetschrottanfalls durch die mechanische Behandlung auf Grundlage der Kapazitäten in Österreich würde bei der Annahme, dass 2-3% vom Input in die Fraktion Magnetschrott transferiert werden können, einen Gesamtanfall von 38.000 – 57.000 t entsprechen. [22]

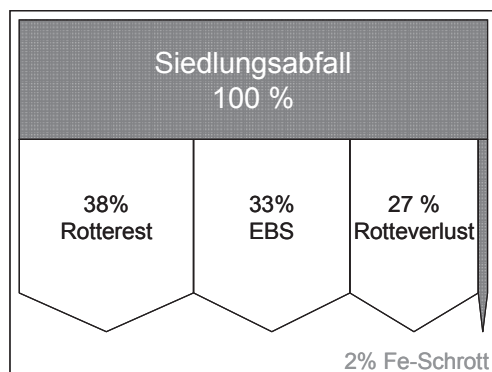


Abbildung 5: Güterfluss einer MBA bzw. MA [22]

Dabei ist erstens zu beachten, dass bei der mechanischen Aufbereitung auch Kapazitäten für getrennt gesammelte Verpackungsabfälle benötigt werden und zweitens natürlich die Auslastung der Anlagen keine 100% beträgt. Im Großen und Ganzen deckt sich diese Schätzung aber mit der obigen Berechnung des Anfalls über den Anteil von Metallen im Siedlungsabfall. Im Rahmen dieser Arbeit wurde weiters versucht den Verwertungsweg der in Österreich anfallenden Magnetschrottfraction zu verfolgen (vgl. Kapitel 3.5). [2, S. 98]

Die Differenz Gesamtschrottanfall zu Magnetschrottanfall im Siedlungsabfall muss sich heute zwangsläufig aufgrund des Behandlungsgebotes im Müllverbrennungsschrott (vgl. Abbildung 6) wieder finden. Im Gegensatz zum Magnetschrott wurde für aufbereiteten Schrott aus der Müllverbrennung (E46) eine Regelung bezüglich Einordnung in die Schrottsortenliste gefunden, die die Verwertung dieser Fraktion erleichtern soll (vgl. Kapitel 4.3). [6, S. 7-9]

Aschen und Schlacken aus Abfallverbrennungsanlagen (MVA) haben im Durchschnitt einen Metallanteil von 5%. Da der BAWP für 2004 ein Anfall von ca. 380.000 t Aschen und Schlacken aus Verbrennungsanlagen ausweist, ergibt sich eine MVA-Schrottmenge von ca. 19.000 t. Zusätzlich sind etwa 10.000 t Eisenmetalle im Siedlungsabfall zu berücksichtigen, die damals noch den Weg auf die Deponie gefunden haben. Somit bleibt für die Magnetschrottfraktion vom Gesamtanfall eine beachtliche Menge von ca. 60.000 t für das Jahr 2004 übrig (vgl. Tabelle 9). [22], [5, S. 57]

Tabelle 9: Schrottverteilung nach Verwertungswegen

	2004	2009
Magnetschrott	60.000	62.000
MVA-Schrott	19.000	44.000
Deponie	10.000	–
Summe	89.000	106.000



Abbildung 6: Müllverbrennungsschrott

Legt man für einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung die prognostizierten Abfallmengen im BAWP für das Jahr 2009 zu Grunde, ergibt sich eine Gesamtanfallmenge von ca. 106.000 t. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Bedeutung einer wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Lösung für das Recycling von Magnetschrott immer mehr an Gewicht gewinnen wird. [5, S. 32-33]

3.5 Magnetschrottverwertung

Früher wurden Magnetschrotte (damals auch als Müllschrott bezeichnet) direkt im Hochofen eingesetzt oder der normalen Müllverbrennung zugeführt. Heute sind diese „Verwertungsmöglichkeiten“ wegen unterschiedlicher Faktoren ausgeschlossen. Zum Beispiel verhindert die stoffliche und physikalische Zusammensetzung der Schrotte den Einsatz in Schmelzwerken, da diese negative Auswirkungen auf die Stahlqualität hervorruft. Dies bedeutet, dass der gewonnene Schrott aus dem Siedlungsabfall, vor der Nutzung als

Sekundärrohstoff im Stahlwerk einer weiteren Aufbereitung bedarf, die derzeit mittels Shreddertechnik abgewickelt wird (vgl. Abbildung 7). [18, S. 34]

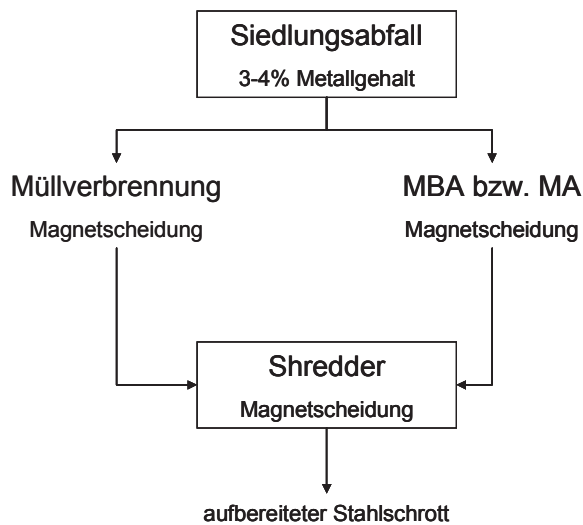


Abbildung 7: Recyclingverfahren von Magnetschrott (derzeit)

Die derzeitige Behandlungskette erzeugt – maßgeblich aufgrund der jeweiligen Schrottpreissituation – zunehmende Probleme zwischen den Betreibern der MBAs bzw. MAs und deren Magnetschrottabnehmern. Der Betreiber der mechanischen Abfallbehandlungsanlage versucht natürlich durch seine Wertstoffe soviel wie möglich zu lukrieren. Im Gegensatz dazu muss der Shredderbetrieb den Spagat zwischen Forderung an die Schrottqualitäten und einsetzbarem Shreddervormaterial schaffen. Diese Problematik bei der Magnetschrottaufbereitung führt in der Praxis oft zu unangenehmen Ergebnissen.

Wie im Kapitel 3.4 errechnet, müssten in Österreich mindestens 55.000 – 60.000 t Magnetschrott im Umlauf sein, die möglicherweise zum größten Teil unter die Notifizierungs- und Bewilligungspflicht laut Abfallverbringungsverordnung fallen (vgl. Kapitel 2.2). Um den Verbleib der Magnetschrottfraktion zu klären, wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, eine Stellungnahme der sechs Shredderbetriebe in Österreich zu erhalten, welche Mengen diese in den letzten Jahren aufbereitet haben. Leider waren die Angaben und Rückmeldungen der Betriebe nicht in dem Umfang gegeben um auf die konkrete Gesamtbearbeitungsmenge zu schließen. Dennoch bleibt zu erwähnen, dass die errechnete Anfallsumme von 55.000 – 60.000 t durch die genannten und vermuteten Zahlen der Shredderbetriebe sicher nicht erreicht werden kann. Da auch die Notifizierungs- und Bewilligungsmengen für Eisen- und Stahlschrott durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) die Fehlmengen nicht decken, muss davon ausgegangen werden, dass Magnetschrott aus Österreich auch ohne rechtliche Grundlage seinen Verwertungsweg findet.

Da heutzutage die Klimarelevanz in aller Munde ist, wird auch hier kurz auf den Einfluss der Magnetschrottverwertung auf das Klima eingegangen. Laut deutschem Umweltbundesamt verursacht der gesamte Herstellungsprozess inklusive der Vorkette von 1 kg Eisen (Fe) in

Summe 1,8 kg CO₂-Äquivalente. Grob gerechnet kann somit durch die Magnetschrottverwertung im Rahmen der österreichischen Abfallwirtschaft von einem Klimaentlastungspotential von 59.400 bis zu 79.200 t CO₂-Äquivalente ausgegangen werden. Dabei wurden die Belastungen durch die Aufbereitung und den Schrotteinsatz im Konverter nicht berücksichtigt und die in Kapitel 3.4 berechneten 55.000 t Magnetschrottanfall aus der mechanischen Aufbereitung in Österreich berücksichtigt. Die Spanne ergibt sich aus der Einberechnung des Gehaltes an Eisen von 60-80%. Die Größenordnung der Entlastung spricht deutlich für das Recycling von Magnetschrott. [23]

4 Aufbereitung

Der in dieser Arbeit behandelte Magnetschrott wird aufgrund seiner Zugehörigkeit zur Fraktion Problemschrott hauptsächlich den Weg in die Aufbereitung mit einem Shredder (Hammerbrecher) finden. Daneben gibt es noch die Schrottpresse bzw. Schere für unproblematische Schrottsorten aus dem Altschrottaufkommen.

4.1 Shredder

Die Shredderanlagen unterscheiden sich maßgeblich durch ihre angewandte Technik und werden deswegen in unterschiedliche Typen unterteilt (vgl. Tabelle 10). Dabei gibt es Typen, die mit der Fraktion Magnetschrott aus der mechanischen Abfallbehandlung mehr oder weniger keine bis sehr große Probleme bei der Aufbereitung haben.

Tabelle 10: Shredder [17, S. 8-10]

Klassen	PS	Typen		Ausführung
Mini	bis 350	HD SHD	Zerdirator Kondirator	TD, TBD TD, TBD TD, TBD
Medium-size	350-1000			
Large	1000-3000			
Very large	3000-9000			
HD: heavy duty SHD: super heavy duty		TD: top-discharge TBD: top-bottom-discharge		

Eine Treibrolle regelt die Beschickung des Rotors, dessen Schlagwerkzeuge (Hämmer) den Schrott über eine Abschlagkante in faustgroße Stücke reißen. Ziel ist der Aufschluss des Materialgemisches für die folgenden Trennprozesse. Entscheidend dabei ist die Mindestkorngröße, die durch den Rost gewährleistet werden soll. Das Produkt, Shredderschrott (E40) (vgl. Abbildung 8) verfügt über eine hohe Dichte, Reinheit und die gleiche Korngröße. [17, S. 8-6]



Abbildung 8: Shredderschrott (E40)

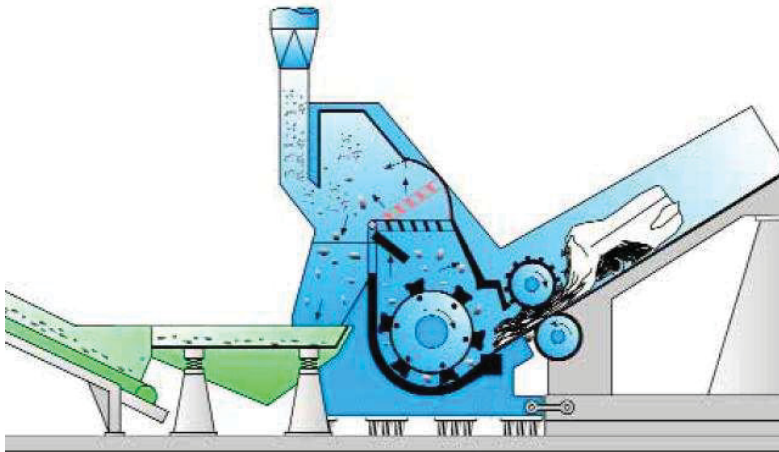


Abbildung 9: Autoschredder [24]

Ein oben liegender Rost, der bei normalen Autoschreddern (vgl. Abbildung 9) zum Einsatz kommt, wird beim Zerdirator (vgl. Abbildung 11) durch einen unten liegenden Rost ergänzt. Zusätzlich besitzt der Zerdirator oben eine drehbare Rostabdeckung, die als Dichteregulierung dient und die Möglichkeit bietet ohne Rostwechsel verschiedenste Materialien zu bearbeiten. Dies erklärt auch, dass Magnetschrott für die Zerdiratortechnik kein wesentliches Problem darstellt (vgl. Abbildung 10). Der Shredderbetreiber gibt den Magnetschrott mit gängigem Shreddervormaterial auf, um damit eine zufriedenstellende Qualität erreichen zu können. Beim Zerdirator wird der erste Durchgang als Monofraktion durchgeführt, wobei die Absaugung speziell dafür angepasst wird und bei Verstopfungen mit Mischschrottbeigabe reagiert wird. Der zweite Durchgang, bei dem der obere Rost geschlossen ist, kann nun als Monofraktion oder mit Shreddervormaterial realisiert werden, welche das Freischlagen und somit die Trennung optimieren soll. [25]



Abbildung 10: Magnetschrott nach dem 2. Durchgang mittels Zerdirator

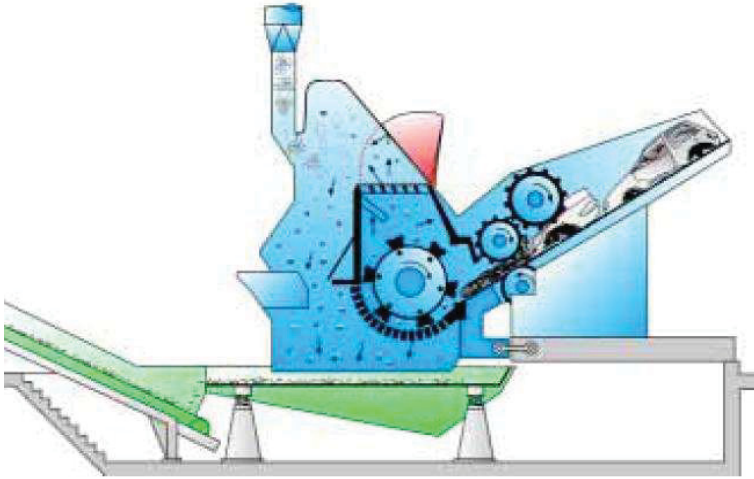


Abbildung 11: Zerdirektor [24]

Beide Verfahren Shredder und Zerdirektor verfügen über einen unveränderbaren Spalt durch den das Aufgabegut von unten in den Rotorbereich gelangt. Die Kondiratorstechnik (vgl. Abbildung 12) basiert auf der oberen Aufgabe in den Rotorraum und kann mittels Schwenkrost wesentlich schwereren Schrott bearbeiten, ohne Gefahr zu laufen ernste Schäden am Shredder erleiden zu müssen. Im Gesamtüberblick fehlen jetzt nur mehr die so genannten Nassshredder, die aus betriebswirtschaftlichen Gründen aber bis heute eine untergeordnete Rolle spielen. [17, S. 8-1 – 8-15]

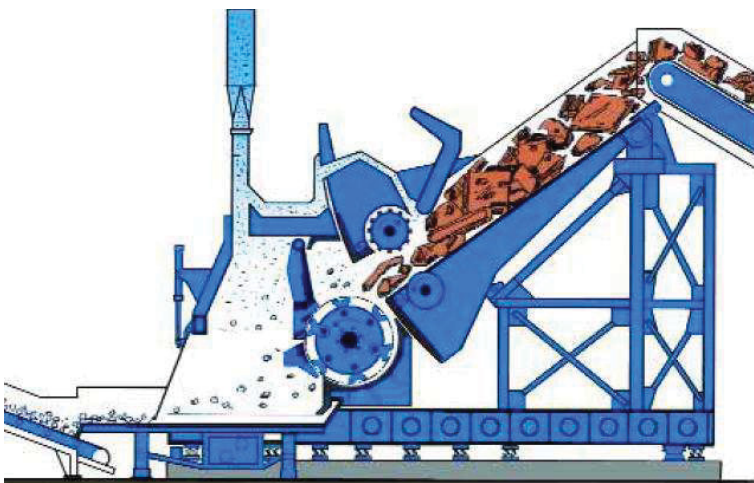


Abbildung 12: Kondirator [24]

Natürlich ist über den Rotorbereich hinaus auch die weiterführende Aufbereitungstechnik von Shredderanlagen sehr unterschiedlich gestaltet. Generell wird aber der flugfähige Anteil (Leichtfraktion) durch eine Absaugung ausgetragen und gemeinsam mit dem Staub im Zyklonabscheider in Shredderleichtfraktion (SLF) und feinste Partikel getrennt. Die nach der Sichtung übrig gebliebene Schwerfraktion durchläuft eine Magnetabscheidung, die den ferromagnetischen Anteil vom Rest (Shredderschwerfraktion (SSF)) trennt. Dessen

Aufbereitung kann je nach Shredderbetrieb sehr unterschiedlich gestaltet sein. Als ein Beispiel soll die folgende Abbildung 13 eine mögliche Variante wiedergeben.

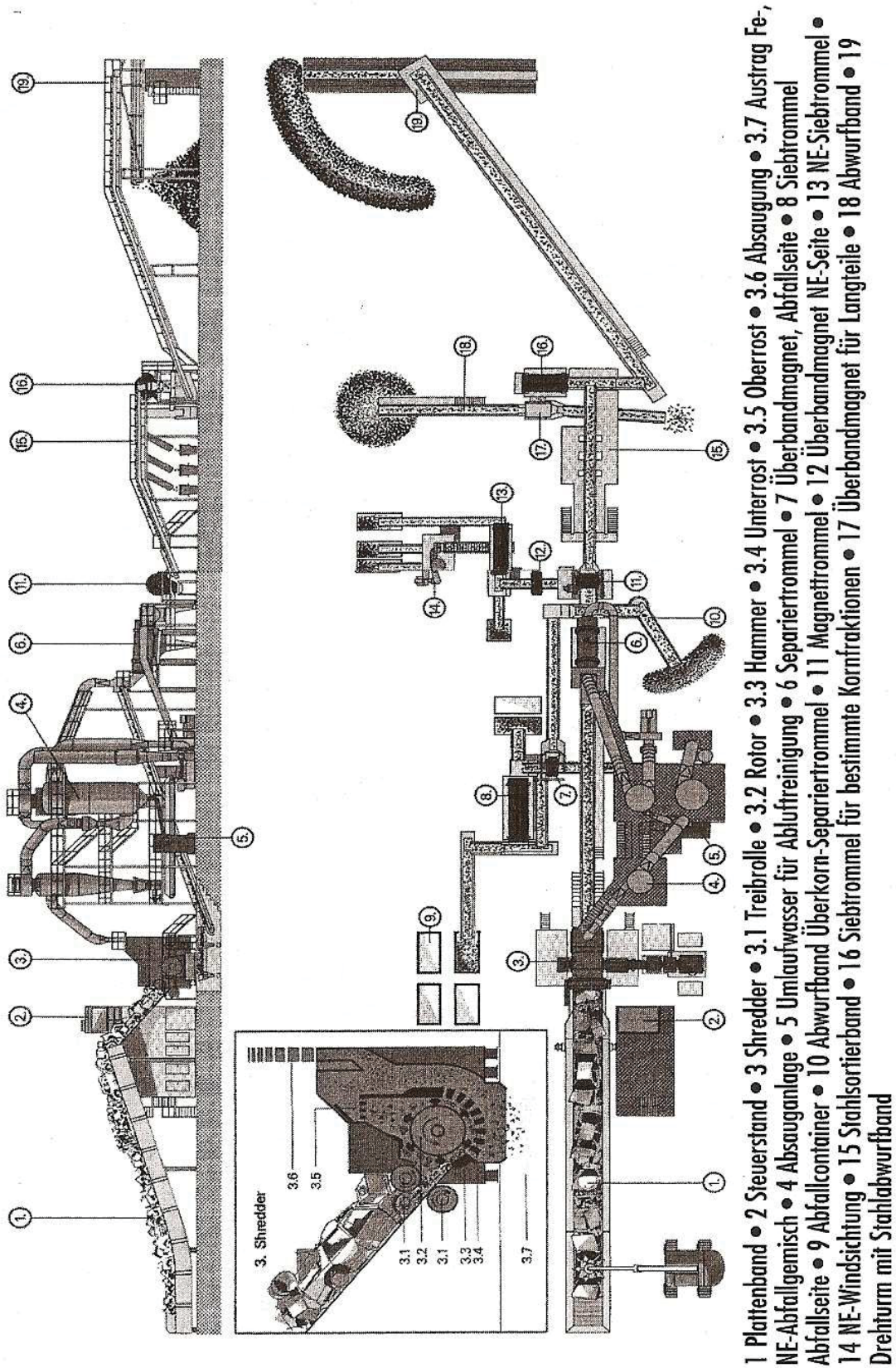


Abbildung 13: Schematischer Aufbau einer Shredderanlage [17, S. 8-13]

Im österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan werden ca. 106.000 t Shredderrückstände für 2004 ausgewiesen. Die Altfahrzeugverwertung alleine ergab dabei ca. 19% SLF und ca. 4% SSF. Die Aufteilung in die einzelnen Fraktionen bei der Magnetschrottaufbereitung mittels Zerdinator wurde im Rahmen der Recherche für diese Arbeit folgendermaßen angegeben. Bei einem Magnetschrott mit 60% Fe gehen die restlichen 40% zu 38% in die SLF bzw. 2% in die SSF, wobei davon etwa 1% als NE-Metalle wieder gewonnen werden können. Dieses Beispiel als Vergleich zur alleinigen Altautoverwertung verdeutlicht die Problematik der Magnetschrottaufbereitung durch den Shredder. Der Betreiber der Anlage ist natürlich bemüht die anfallenden Rückstandsmengen so gering wie möglich zu halten, um die finanziellen Aufwendungen für die Entsorgung zu minimieren. Zusätzlich fordert die Stahlindustrie immer höhere Anforderungen an den zu liefernden Schrott, speziell an dessen chemische Zusammensetzung (vgl. Kapitel 4.3). Tabelle 11 unterteilt die Auswirkungen der Aufbereitung von Magnetschrott in ökonomische und ökologische. [5, S. 82], [25]

Tabelle 11: Probleme der Magnetschrottaufbereitung mit dem Shredder [17, S. 8-6]

Ökonomische Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nichtmetallische Bestandteile führen zu SLF-Verunreinigungen (Heizwertschwankungen) ▪ Metallische NE-Beimengungen ▪ Metallische Überzüge (Sn, Zn, ...) ▪ Durchsatzerniedrigung
Ökologische Auswirkungen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flüssigkeitsfüllungen und andere Inhaltsstoffe ▪ Schadstoffe/Problemstoffe ▪ Staubentwicklung, Brandgefahr ▪ Lagerung (Geruch – organische Bestandteile)

Derzeit liegen die Aufbereitungskosten bei 60-80€/t Magnetschrott bei zweimaligem Durchgang und die Entsorgung der Shredderleichtfraktion ist mit bis zu 150€/t anzusetzen. Dazu erhöht die niedrige Dichte dieser Fraktion die Transportkosten um durchschnittlich 20%. Generell liegt die Schmerzgrenze einer Aufbereitung mittels Shredder im Bereich von 35-40% Anhaftungen bezogen auf den Input. Der Verbleib von Magnetschrottfractionen, die selbst diese Kriterien nicht erfüllen, konnte, wie oben schon erwähnt, im Laufe der Arbeitserstellung nicht verifiziert werden und ist daher fraglich. [26]

4.2 Alternative Verfahren

Eine besondere Bauart, die auch als Mühle bezeichnet wird, stellt jene Ausführungsform dar, die mit einem vertikalen Rotor versehen ist (vgl. Abbildung 14). Im Gegensatz zum Shredder erfordert die vertikale Anordnung des Rotors kleinere Stücke als Aufgabegut. Am oberen Teil des Rotors führen prismenförmige Schlagelemente eine Vorzerkleinerung durch, die von Rotorscheiben abgelöst werden, die paarweise ringförmige und frei drehbare Schlagelemente besitzen. Gehäusewand und Mahlkörper erzeugen somit einen sich nach unten hin verengenden Spalt. Bevor die so genannten Flügel den Schrott austragen, wird dieser im oberen Bereich regelrecht auseinander gerissen, um den Aufschluss zu gewährleisten, und im unteren Bereich weiter zerkleinert und kompaktiert. Die folgende

Windsichtung und Abtrennung von Nichteisenmetallen durch Magnetabscheidung besitzt eine ähnliche Ausprägung, wie die vorher beschriebene Shredderanlage. In Leipzig ist eine solche Anlage mit einer Jahreskapazität von 48.000 t in Betrieb und bearbeitet sowohl Magnetschrotte als auch andere Nichtmetall-Metallverbunde. [18, S. 275-276], [8, S. 24], [27]

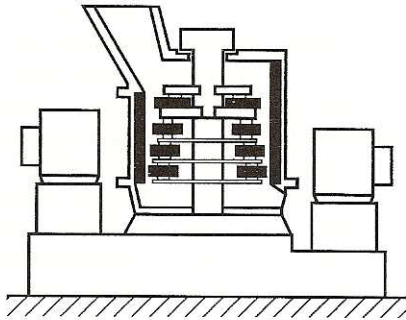


Abbildung 14: Hammerbrecher mit vertikal angeordnetem Rotor [13, S. 314]

Die hohen Schrottpreise der letzten Jahre haben dazu geführt, dass auch speziell für die Fraktion Magnetschrott entwickelte oder umgerüstete Verfahren zum Einsatz gelangt sind. Am Markt befindet sich derzeit eine Komplettlösung für die Aufbereitung von Magnetschrott aus der mechanischen Abfallbehandlung mittels Querstromzerspaner (QSZ) (vgl. Abbildung 15). Dabei wird der Materialaufschluss mit Hilfe von flexibel drehenden Schlagketten herbeigeführt und über die Verweilzeit und Geschwindigkeit die Korngröße gesteuert. Zusätzlich fördert die entstehende Wärme den Aufschluss von Verbunden.

Dabei soll vor allem das Umwickeln der Kette mit Störstoffen zu Problemen führen. Auch ein vorliegendes Angebot für die Installation einer solchen Anlage zum Zwecke der Magnetschrottaufbereitung lässt, aufgrund der Höhe der Investitionssumme, einen wirtschaftlich sinnvollen Betrieb nur sehr schwer vorstellbar erscheinen. Ob damit überhaupt den Anforderungen der Stahlindustrie genüge getan wird, konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht verifiziert werden. Sollte das Material aber trotz Aufbereitung mit dem Querstromzerspaner noch einen Bearbeitungsschritt mit dem Shredder durchlaufen müssen, wird die Wirtschaftlichkeit dieser Methode, wohl nur bei sehr hohen Schrottpreisen gegeben sein. [28, S. 6]



Abbildung 15: Querstromzerspaner [29]

4.3 Anforderungen der Stahlindustrie

4.3.1 Theorie

In Österreich sind derzeit drei Elektrolichtbogenöfen (EAF) und zwei integrierte Hüttenwerke (Hochofen-Konverterroute) in Betrieb. Liegt die Möglichkeit der Verwendung von Schrott als Rohstoff bei Konverterstahlwerken nur bei 20-25% kann die Elektrostahlerzeugung nahezu vollständig mit Stahlschrott von statten gehen. [30, S. 42]

Schon sehr früh begannen Stahlrecyclingwirtschaft und Stahlwerke sich über die Bedingungen für Schrottlieferungen zu verständigen. Somit entstanden nationale Sortenlisten, die 1995 in die europäische Schrottsortenliste mündeten, die für Sicherheit, Handhabbarkeit und klar definierte Bedingungen für die Einsatzrechnung von Schrott in Stahlwerken dienen sollte. Dabei wurden Anforderungen an die Sicherheit, physikalische und auch chemische Eigenschaften festgelegt, denen der Schrott genügen muss. [17, S. 5-1]

Aus Gründen der Sicherheit sind Schrottlieferungen frei von Hohl- und Sprengkörpern und radioaktiven Bestandteilen zu sein. Die äußeren Eigenschaften, die in den allgemeinen Bedingungen definiert sind, gliedern sich in die Einzelstückgröße, Einzelstückgewicht, Schüttgewicht und Schuttanteil (vgl. Tabelle 12). Im Wesentlichen soll durch diese Vorgaben der Transport zum und die Verfahrenstechnik im Stahlwerk erleichtert werden. [17, S. 5-1 – 5-17]

Tabelle 12: Auszug aus der Schrottsortenliste [6, S. 7-9]

Kategorie	Sorten-Nr.	Sortenbeschreibung	Abmessungen	Schüttgewicht $t [t/m^3]$	Schüttanteil
Altschrott	E 3	Schwerer Stahlschrott, überwiegend stärker als 6 mm, in Abmessungen nicht über 1,5 x 0,5 x 0,5 m, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Rohre und Hohlprofile können enthalten sein. Karoserieschrott und Räder von Pkw sind ausgeschlossen. Muss frei sein von Betonstahl und leichtem Stabstahl soweit von sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei (und Legierungen), Maschinenteilen und Schutt, um die angestrebten Analysenwerte zu erreichen.	Stärke ≥ 6 mm Abmessungen $\leq 1,5 \times 0,5 \times 0,5$ m	$\geq 0,6$	$\leq 1\%$
	E 1	Leichter Stahlschrott, überwiegend unter 6 m Stärke, in Abmessungen nicht über 1,5 x 0,5 x 0,5 m, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Wenn ein größeres Schüttgewicht gewünscht wird, empfiehlt sich, eine Höchstabmessung von 1 m zu vereinbaren. Kann Räder von Pkw enthalten, aber unter Ausschluss von Karoserieschrott von Pkw und Haushaltsgeräteschrott. Muss frei sein von Betonstahl und leichtem Stabstahl, frei von sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei und (Legierungen), Maschinenteilen und Schutt, um die angestrebten Analysenwerte zu erreichen.	Stärke < 6 mm Abmessungen $\leq 1,5 \times 0,5 \times 0,5$ m	$\geq 0,5$	$< 1,5\%$
Shredderschrott	E 40	Shredderstahlschrott, Stahlschrott in Stücke zerkleinert, die in keinem Fall größer als 200 mm für 95 % der Ladung sein dürfen. In den verbleibenden 5 % darf kein Stück größer als 1000 mm sein, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Der Schrott soll frei sein von überhöhter Nässe, von losen Gusseisenstücken und von Müllverbrennungsschrott (insbesondere Weißblechdosens). Muss frei sein von sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei (und Legierungen) sowie Schutt, um die angestrebten Analysenwerte zu erreichen.		$> 0,9$	$< 0,4\%$
Geshreddeter Schrott aus der Müllverbrennung	E 46	Geshreddeter Schrott aus der Müllverbrennung. Loser Stahlschrott aus der Müllverbrennungsanlage für Haushaltsabfälle, der anschließend durch die magnetische Trennungsanlage ging, geshreddert, in Stücke, die keinesfalls größer als 200 mm sein dürfen und die einen Teil zinnbeschichteter Stahldosen enthalten, aufbereitet für einen direkten Einsatz als Rohstoff. Der Schrott soll frei sein von zu starker Nässe und Rost. Er muss frei sein von zu hohen Mengen an sichtbarem Kupfer, Zinn, Blei (und Legierungen) sowie von Schutt, um die angestrebten Analysenwerte zu erreichen.		$\geq 0,8$	Fe-Gehalt $\geq 92\%$

Der Fe-Gehalt der Schrotte, der letztlich auch die Höhe des Preises bestimmt, ist zwangsläufig der wichtigste chemische Parameter für den Stahlwerker. Darüber hinaus sind aber einige zusätzliche Bestandteile von großer Bedeutung, die die Werkstoffeigenschaften negativ beeinflussen und daher festgelegte „Grenzwerte“ einhalten sollten. Dazu zählen, wie in Tabelle 13 zu sehen, Kupfer (Cu), Zinn (Sn), Chrom (Cr), Nickel (Ni), Molybdän (Mo), Schwefel (S) und Phosphor (P).

Tabelle 13: Angestrebte Analysenwerte für Schrottsorten [6, S. 10]

Kategorie	Spezifikation	Angestrebte Analysenwerte (Reststoffe) in %				
		Cu	Sn	Cr, Ni, Mo	S	P
Altschrott	E3	≤ 0,250	≤ 0,010	∑ ≤ 0,250		
	E1	≤ 0,400	≤ 0,020	∑ ≤ 0,300		
Neuschrott mit niedrigem Gehalt an Begleitelementen (Reststoffe), frei von Beschichtungen	E2		∑ ≤ 0,300			
	E8		∑ ≤ 0,300			
	E6		∑ ≤ 0,300			
Shredderschrott	E40	≤ 0,250	≤ 0,020			
Stahlspäne	E5H	Eine vorherige chemische Analyse kann gefordert werden.				
	E5M	≤ 0,400	≤ 0,030	∑ ≤ 1,000	≤ 0,100	
Schrott mit hohem Gehalt an Begleitelementen (Reststoffen)	EHRB	≤ 0,450	≤ 0,030	∑ ≤ 0,350		
	EHRM	≤ 0,400	≤ 0,030	∑ ≤ 1,000		
Geshredderter Schrott aus der Müllverbrennung	E46	≤ 0,500	≤ 0,070			

Vor allem Kupfer und dessen Legierungen Bronze, Messing und Neusilber sowie Zinn beeinflussen schon bei geringem Eintrag die Verformungseigenschaften des Stahls negativ und sind metallurgisch nicht zu entfernen. Diese Abtrennbarkeit (vgl. Tabelle 14) durch Oxidationsprozesse ist bei beiden Stahlerzeugungsverfahren der ausschlaggebende Faktor für die Relevanz der Begleitelemente.

Tabelle 14: Abtrennbarkeit von Metallen [17, S. 5-8]

Magnesium (Mg)	Metalle unedler als Eisen mit größerer Affinität zum Sauerstoff oxidieren und scheiden sich in der Schlacke ab
Aluminium (Al)	
Titan (Ti)	
Silizium (Si)	
Vanadium (V)	
Mangan (Mn)	
Chrom (Cr)	
Eisen (Fe)	
Wolfram (W)	Metalle edler als Eisen mit geringerer Affinität zum Sauerstoff oxidieren nicht und verbleiben in der Schlacke
Molybdän (Mo)	
Kobalt (Co)	
Zinn (Sn)	
Nickel (Ni)	
Blei (Pb)	
Kupfer (Cu)	

Im Allgemeinen gibt der Reinheitsgrad des herzustellenden Stahls die chemischen Anforderungen an den unlegierten Stahlschrott vor (vgl. Tabelle 15), welche dann im Rahmen der Einsatzrechnung im Stahlwerk berücksichtigt werden.

Tabelle 15: Zusammenhang chemische Zusammensetzung Stähle und Schrott [17, S. 5-10]

Chemische Zusammensetzung der Stähle in %		
Element	Langprodukte	Feinblechgüte
C	0,100-0,400	0,020-0,035
Si	≤ 0,300	≤ 0,020
Mn	~ 0,500-1,500	0,15-0,22
P	≤ 0,025	≤ 0,012
S	≤ 0,030	≤ 0,012
Al	~ 0,020	0,025-0,045
Cu	≤ 0,250	≤ 0,040
Cr	≤ 0,200	≤ 0,040
Ni	≤ 0,250	≤ 0,040
Mo	≤ 0,100	≤ 0,010
Cu, Cr, Ni, Mo		$\Sigma \leq 0,130 (0,100)$
Einsatzverhältnis Roheisen : Schrott = 3 : 1		
Mittlere Roheisenanalyse		Ni und Mo = 0 % Cu = 0,01 % Cr = 0,03 %
Daraus resultiert eine mittlere Schrottanalyse mit:		
Cu	max. 1,00	max. 0,13
Cr	max. 0,71	max. 0,07
Ni	max. 1,00	max. 0,16
Mo	max. 0,40	max. 0,04

Einer somit erzeugten Verdünnung mit sauberen Materialien (Roheisen, Eisenschwamm oder Eisenkarbid) sind sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Grenzen gesetzt. Als anschauliches Beispiel (vgl. Abbildung 16) kann die Herstellung von Langprodukten mit üblichen Toleranzgrenzen (Cu < 0,25%, Cr < 0,20%, Ni < 0,25%, Mo < 0,1%) im Konverter oder Elektrolichtbogenofen dienen. Durch die Annahme einer Verdünnung von 4:1 im Konverterstahlverfahren und bei durchschnittlicher Roheisenzusammensetzung (Ni, Mo 0%, Cu 0,01%, Cr 0,03%) darf der Kupfergehalt des Schrotts ca. 1%, der Chromgehalt ca. 0,7%, der Nickelgehalt ca. 1% und der Molybdängehalt ca. 0,4% betragen. Da für die Elektrostahlroute keine Verdünnung für Langprodukte vorgesehen ist, orientiert sich der Gehalt an Begleitelementen an den Toleranzgrenzen. Noch höhere Anforderungen werden bei der Feinblechproduktion gestellt und damit das Elektrostahlverfahren mit 100%igem Schrotteinsatz von vorn herein ausgeschlossen. Damit sich eine Verdünnung unterm Strich rechnet ist das Verhältnis von Schrottpreis zum Preis für alternative, saubere Materialien ausschlaggebend. [17, S. 5-4 – 5-12], [30, S. 31-32]

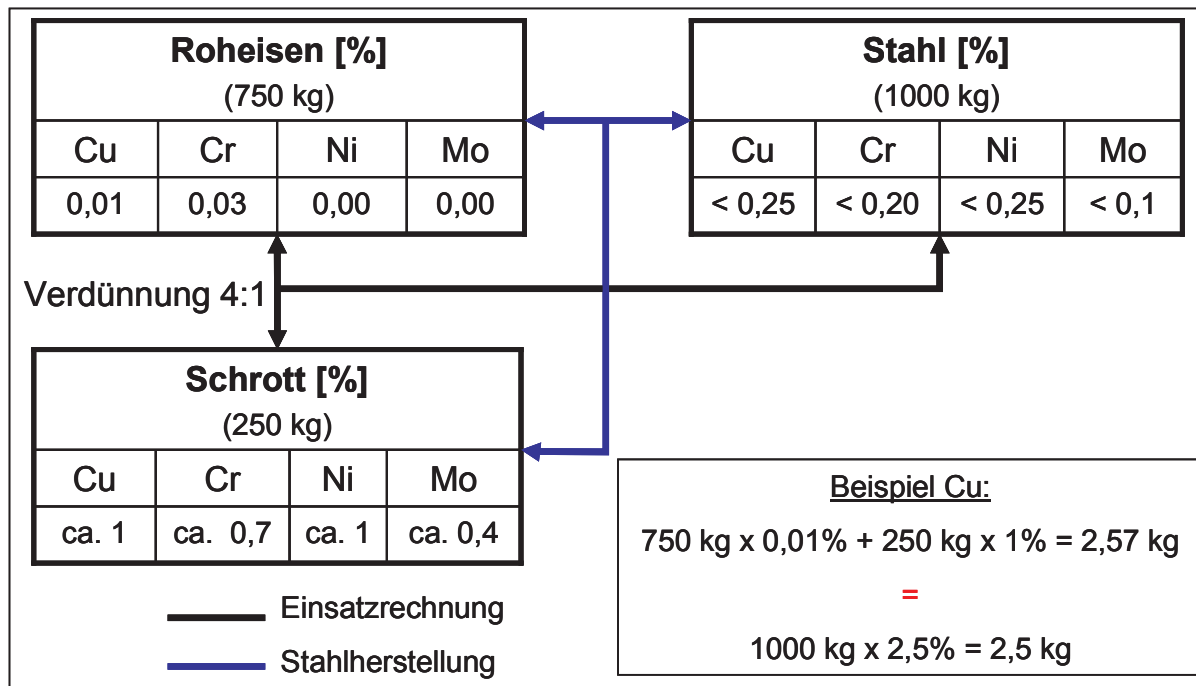


Abbildung 16: Einsatzrechnungsbeispiel für Konverter

4.3.2 Praxis

Vor allem eine umfassende Eingangskontrolle für den angenommenen Schrott soll die Qualität, die überwiegend optisch festgestellt wird, garantieren. Dabei ist zu beachten, dass die Relevanz der Sortenliste für die Praxis in Bezug auf die, wie angegeben „angestrebten“, Analysenwerte als nicht sehr maßgebend angesehen werden kann (vgl. Tabelle 13).

Der Stahlwerker versucht durch Mischen der unterschiedlichen Sorten mit seinem Eigenschrott, jene Qualität zu erreichen, die die jeweilige Charge erfordert. Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass erst die Analyse der Schmelze über Fehler bei der Chargierung Aufschluss geben kann. Sollte das der Fall sein besteht grundsätzlich immer noch die Möglichkeit die Schmelze zu teilen und auf ein verträgliches Maß zu verdünnen. Natürlich wird aufgrund der Mehrkosten und des Zeitaufwandes versucht, solche Fehlchargen so gering wie möglich zu halten. Auch der Einsatz von Weißblechdosen, die beidseitig mit Zinn in Auflagen von 1-10 g/m² beschichtet sind, wird in geringen Mengen realisiert, ohne an kritische Analysengrenzen zu gelangen.

Die wichtigsten störenden Begleitelemente im Schrott sind daher Cu, Ni, und Mo, die im Stahlherstellungsverfahren nicht abgeschieden werden können und Cr, das zumindest zu 50% in den Stahl übergeht.

Schmelzversuche, um das metallurgische Verhalten von MVA-Schrott und Magnetschrott (damals bezeichnet als Müllschrott) näher zu beleuchten, haben ergeben, dass bei MVA-Schrott mit hohem Ascheanteil einerseits das vermehrte Einbringen von Schlacke und andererseits dessen vermehrter Schwefelgehalt Probleme bereiten. Neben den dadurch erforderlichen zusätzlichen Kalkmengen führt auch eine fortgeschrittene Korrosion des Schrotts zu unkontrollierbaren Gasentwicklungen bei Vermengung mit dem flüssigen

Roheisen. Unaufbereiteter Magnetschrott demgegenüber konnte nur in Testmengen eingesetzt werden, da die sehr starke Rauchentwicklung, durch das Abbrennen der organischen Beimengungen, weiteres verhinderte. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Unabdingbarkeit einer Aufbereitung von Magnetschrott. [8, S. 36-39]

Eine zusätzliche Option das Problemfeld der Aufbereitung von Magnetschrott zu bearbeiten, stellt die Schiene der Betonstahlproduktion dar. Diese unterscheidet sich von der restlichen Stahlproduktion, dass dabei wesentlich leichter erreichbare Analysenwerte (vor allem für Cu 0,5%) annehmbar sind, obwohl grundsätzlich die Abnahme nach der Sortenliste vollführt wird. Aber auch diese Möglichkeit bedingt dieselbe Aufbereitung für Magnetschrott, deren Kosten dafür sprechen eine möglichst hohe Qualität des Outputs zu fordern. Die Variante der Aufbereitung für die Betonstahlproduktion sollte somit erst als zweite Option angesehen werden. [31], [32]

4.4 Schrottpreis

Generell unterliegt der Schrottpreis einer freien Bildung durch Angebot und Nachfrage und somit einer Vielzahl von Faktoren. Den größten Einfluss hat dabei der Weltmarkt, der aber sehr wohl durch regionale Unterschiede überlagert werden kann. Wesentliche Auswirkungen auf die Angebots- und Nachfragestruktur haben ebenfalls die technische Entwicklung, die Verfügbarkeit und die Produktpalette. Das Recycling von Metallen im Speziellen erzeugt zusätzlichen Druck auf der Angebotsseite.

Steigen die Preise für Schrott aufgrund erhöhter Nachfrage an kann es zu zwei Szenarien kommen. Entweder das Angebot zieht nach oder der Preis steigt so hoch, dass der Schrotteinsatz uninteressant wird. Bei beiden Szenarien kommt es zu einer Entspannung der Preissituation. Am Ende ist immer das Preisverhältnis von Roheisen zu Schrott maßgeblich für die Preisbildung. [33, S. 108 f]

Dennoch sind langfristige Preisprognosen für Metalle sehr komplex und erfordern dementsprechend aufwendige Marktbeobachtungen. Grob unterteilt werden die Preise nach ihren Bestimmungsgründen [34, S. 32]:

- **Börsenpreise**, die durch ein Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer Metallbörse zustande kommen,
- **Kartellpreise**, die durch die preisregulierenden Instrumente eines internationalen Rohstoffkartells manipuliert oder durch Maßnahmen einer internationalen Produzentenvereinigung mitbestimmt werden,
- **Produzentenpreise**, die durch Lieferverträge zwischen Metallhütten und ihren Abnehmern fixiert werden,
- **Listenpreise**, die von Metallhütten oder Metallhändlern für eine bestimmte Periode festgesetzt werden.

Für die in der europäischen Schrottsortenliste definierten Schrotte werden die Preise in einschlägigen Fachzeitschriften und im Internet veröffentlicht. Wie oben schon erwähnt gibt es keine eigene Sortenbezeichnung für Magnetschrott, obwohl es am Markt verfügbar ist. Daher gelten die ausgezeichneten Schrottpreise und im Speziellen der monatliche Schrottpreisindex der VOEST in Österreich als Anhaltspunkt bei Verhandlungen für die Übergabe von Magnetschrott an Shredderbetriebe. In der Praxis wird dabei vielfach zuerst ein eigener Ausbringungsversuch mit dem jeweiligen Material durchgeführt, um den durchschnittlichen Eisengehalt zu bestimmen und darauf aufbauend der Preis verhandelt.

Wie in Abbildung 17 dargestellt vollführte der Schrottpreis in den letzten Jahren eine massive Preistrallie Richtung oben, die aber im Zuge der allgemeinen Weltwirtschaftssituation im Jahr 2008 ein jähes Ende erfahren hat. Wurde am Beginn dieser Arbeit (Juli 2008) noch ein Preis von bis zu 200 €/t für angelieferten Magnetschrott bei 70-75% Fe-Gehalt von verschiedenen österreichischen Verwertern angegeben, so sank der Preis bis Oktober auf 0-20 €/t.

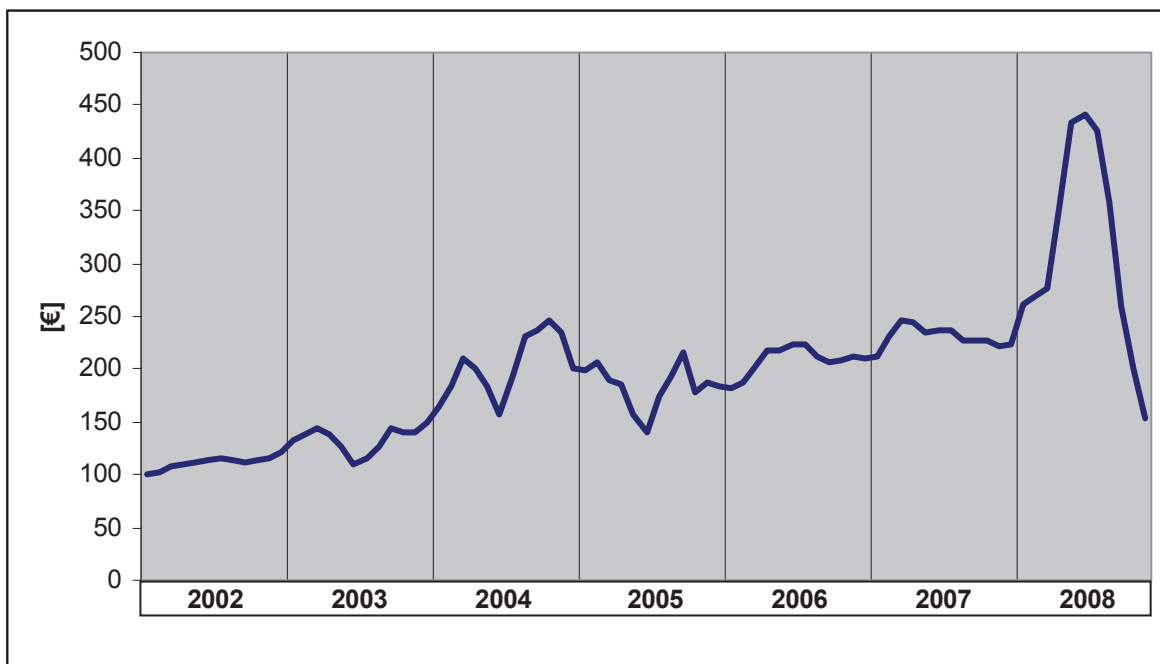


Abbildung 17: Europäischer Preisindex für Shredderschrott [35]

In diesem Zusammenhang dürfte auch der Vergleich von Erlös für Shredderschrott zu Kosten für Shreddervormaterial von Interesse sein. Natürlich sind die Preise, die im Internet abrufbar sind, für beide Schrottarten nur als Anhaltspunkte anzusehen und immer Gegenstand von Preisverhandlungen. Dennoch kann für diese kurze Periode, die in Abbildung 18 dargestellt ist, gezeigt werden, dass diese sehr stark korrelieren und sich nur durch die Spanne für die Shredderbetriebe unterscheiden. Diese These würde dazu führen, dass die Aufbereitung von Magnetschrott mit kostengünstigeren Methoden, als die der Shredderbetriebe, immer von Vorteil wäre.

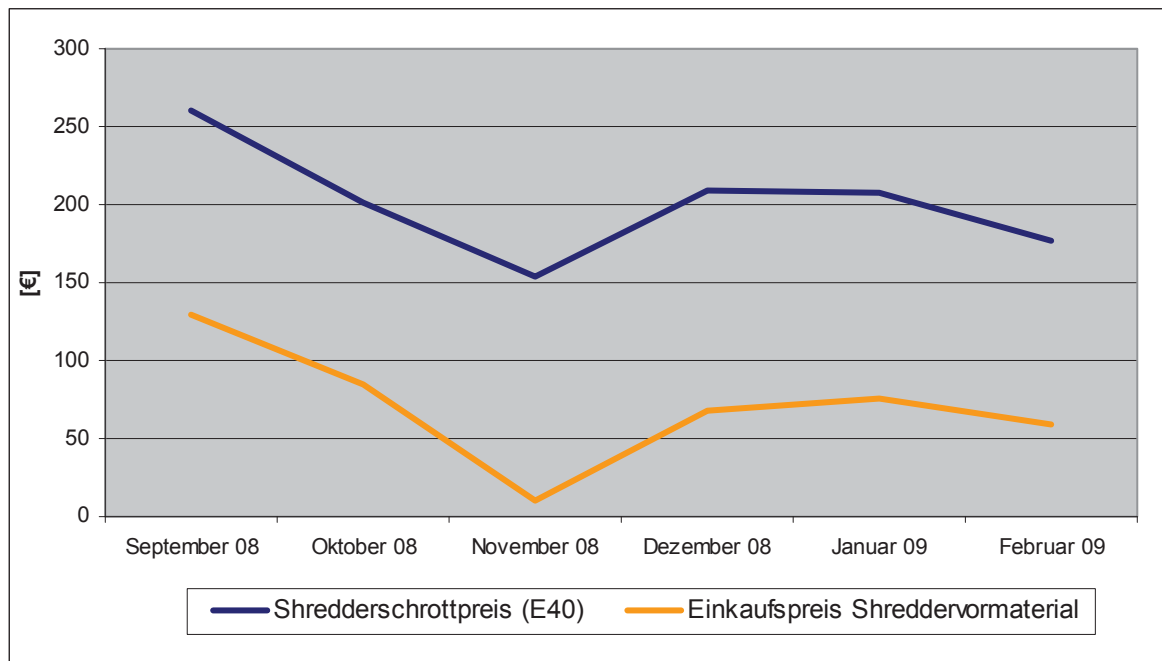


Abbildung 18: Vergleich Shredderschrottpreis (E40) zu Shreddervormaterialpreis [35], [36]

Ein Ausblick über die kommenden Entwicklungen am Schrottmarkt unter den derzeit vorherrschenden weltwirtschaftlichen Bedingungen grenzt nahezu an Wahrsagerei. Die Nachfrageflaute im Markt führt dazu, dass das Sammeln von Schrott immer unrentabler wird. Daher haben die Aufbereiter, die im Grunde fix mit ihrer Marge rechnen können, geringere Probleme als die Sammler. Kurzfristige Nachfragehochs deuten darauf hin, dass einige Marktteilnehmer die niedrigen Preise dazu nutzen, um sich strategische Lagerbestände aufzubauen. Bevor aber nicht eine grundlegende Entspannung des wirtschaftlichen Klimas in der Welt eintritt, wird die Stagnation der Preise am unteren Ende der Skala wohl am realistischsten sein. Dennoch bleibt zu bemerken, dass es sich bei Altmittel um einen wichtigen Rohstoff handelt, der hilft Ressourcen einzusparen.

5 Voraufbereitung von Magnetschrott

Ein nicht zu unterschätzendes Problem für die Stahlrecyclingwirtschaft stellt heute der stetig wachsende Magnetschrott aus mechanischen Abfallbehandlungsanlagen dar. Wie bereits erwähnt, führt der klassische Weg den gewonnenen Schrott aus der mechanischen Aufbereitung über den Shredder zur Verwertung ins Stahlwerk. Da die Aufbereitung im Shredder bis heute zu annehmbaren Kosten noch nicht befriedigen gelöst ist, wurde mit der vorliegenden Arbeit versucht, die Rahmenbedingungen für einen Zwischenschritt bzw. eine Voraufbereitung abzustecken (vgl. Abbildung 19). Damit könnte vielleicht die Lücke zwischen Anbieter, der den höchstmöglichen Preis für sein „Produkt“ erzielen will, und entweder dem Shredderbetreiber oder – etwas unwahrscheinlicher – dem Stahlwerker geschlossen bzw. verringert werden.

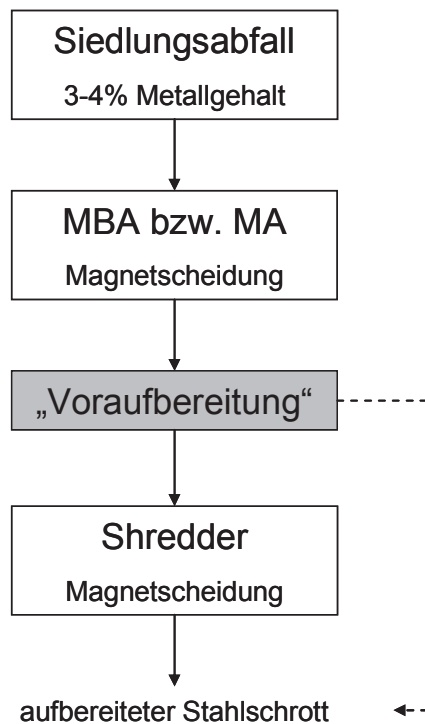


Abbildung 19: Magnetschrottverwertung mit Voraufbereitung

Wirtschaftliche Überlegungen veranlassen den Stahlwerker hohe Reinheit und damit einhergehenden Eisengehalt als Voraussetzung für die Abnahme mit Unterstützung der Definitionen laut europäischer Schrottsortenliste zu fordern. Eine gezielte Aufbereitung von Magnetschrott müsste somit den Bedürfnissen der Stahlwerker – im wesentlichen Eisengehalt und Reinheitsgrad, chemische Zusammensetzung, Schüttgewicht – unterliegen und würde dazu führen, dass der aufbereitete Magnetschrott eine Einordnung in die Sortenliste erfahren könnte. Ausschlaggebend für die Einführung eines neuen Schrittes „Voraufbereitung“ ist die Veränderung der Kostenstruktur des Gesamtprozesses. Die im Folgenden durchgeführten Kostenkalkulationen sollen darüber Auskunft geben, wobei dabei

zu beachten bleibt, dass es sich jeweils um eine Momentaufnahme handelt, die je nach wirtschaftlichen Vorgaben stark schwanken kann.

5.1 Grundlagen für eine Kostenkalkulation

Eine Vorkalkulation über die Wirtschaftlichkeit neuer Aggregate oder Verfahrensschritte entscheidet letztendlich über die Realisierung und tatsächliche Umsetzung von Ideen und Projekten. Verfahrensspezifische Daten und Kosteninformationen von Firmen und einschlägige Fachliteratur bilden in der Anfangsphase den Grundstock, um über Schätzungen und Näherungen, eine wirtschaftliche Analyse der vorhandenen Optionen zu tätigen und darauf aufbauend die richtigen Entscheidungen zu treffen.

Für die vorliegende Arbeit sind im Besonderen die Behandlungskosten der Magnetschrottfraktion durch ein vorhandenes oder zu entwickelndes Aggregat von Interesse. Diese gliedern sich generell in Kapital-, Betriebs-, Transport- und Entsorgungskosten, die wiederum in fixe und variable Kosten unterteilt werden können. Dabei sind fixe Kosten gegenüber den variablen Kosten unabhängig vom Durchsatz. Abbildung 20 zeigt einen Überblick über das zu Grunde gelegte Schema für die Berechnung der Behandlungskosten des hier betrachteten Aggregats in Kapitel 5.3 bzw. 5.4.

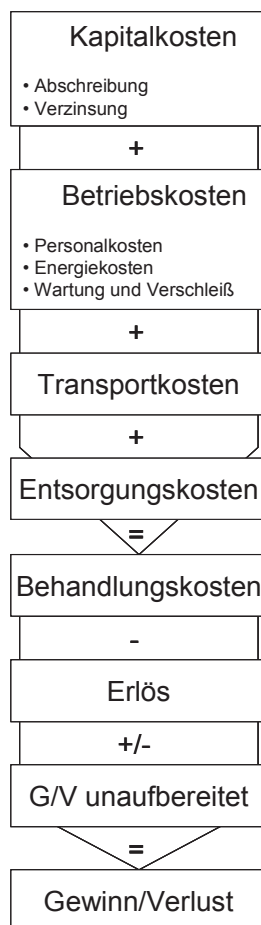


Abbildung 20: Kostenschema des Voraufbereitungsaggregats

Zur Vereinfachung der Fixkostenposition Kapital wird in den vorliegenden Beispielen mit einem zeitlich konstanten Kapitaldienst gerechnet. Wesentliche Größen für die Annuität sind der Zinssatz und die Nutzungsdauer.

Die Betriebskosten gewährleisten den laufenden Betrieb einer Anlage. Die vom Durchsatz unabhängigen Kosten, wie z.B. Verwaltungs- und Versicherungskosten, werden in den folgenden Beispielen aufgrund ihres vermutlich sehr geringen Einflusses vernachlässigt. Die Berechnung konzentriert sich auf die ausschlaggebenden Parameter Personal-, Energie- und Instandhaltungskosten. Der Personalbedarf unterliegt dabei einer Abschätzung der benötigten Arbeitsstunden. Der vorgegebene Durchsatz und die sich daraus ergebenden Betriebsstunden geben mit Hilfe des spezifischen Verbrauchs und eines mittleren Strompreises Aufschluss über die Höhe der zu erwartenden Energiekosten. Die Kalkulation der Instandhaltungskosten basiert auf Erfahrungswerten aus der Praxis und wird über einen Prozentsatz bezogen auf die Investitionskosten bestimmt.

Als maßgebliche Faktoren für die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit im Bereich der Voraufbereitung sind auch die Entsorgungs- und Transportkosten zu nennen. Die Entsorgungskosten gehen durch die Multiplikation der jeweiligen Tonnage mit den derzeit am Markt zu zahlenden Entsorgungskosten in die Berechnung ein. Zur Ermittlung der Transportkosten dienen der Dieselpreis und die durchschnittlichen Entfernungen der beteiligten Partner als Grundlage. Nicht zu vergessen ist der Gewinn oder Verlust den der Anlagenbetreiber der mechanischen Abfallaufbereitung generiert ohne eine Voraufbereitung durchzuführen. Die Summe dieser Kostenfaktoren ergibt vermindert um den erwarteten Erlös der aufbereiteten Fraktion den Gewinn/Verlust der mit dem Aggregat zu erzielen ist. [37, S. 48-113]

5.2 Anlegbarer Preis für Magnetschrott als Shreddervormaterial

Eine Entscheidung über die Rentabilität einer Voraufbereitung von Magnetschrott muss mit der Klärung der Frage beginnen, um welchen Preis ein Shredderbetrieb die unaufbereitete Fraktion annehmen kann. Die Spanne zwischen dem Preis, den ein Shredder für die unaufbereitete Magnetschrottfraktion zu zahlen bereit ist, und dem Preis, der für normales Shreddervormaterial kalkuliert wird, dient einer etwaigen Voraufbereitung als wirtschaftliche Messlatte. Als Ausgangsbasis dafür werden die Kosten bei Normalbetrieb, der Verarbeitung von gängigem Shreddervormaterial, gewählt und darauf aufbauend eine Berechnung getätigt, die den anlegbaren Preis für das Einsatzmaterial Magnetschrott wiedergeben soll (vgl. Anhang).

Aus der spezifischen Shredderleistung und der effektiven Produktionszeit ergibt sich die jährliche Erzeugung von Shredderschrott. Die normalen Verarbeitungskosten mit 40 €/t wurden im Rahmen der Recherche für die Arbeit erhoben. Dazu würden noch 30 €/t für die Berücksichtigung der Sortieranlage dazu kommen, die aber in beiden Fälle etwa dasselbe Ausmaß annehmen und somit nicht in die Berechnung mit einfließen. Im Wesentlichen erhöhen sich diese Kosten nur mehr um den Beitrag zur Entsorgung der Shredderleichtfraktion (ca. 100 €/t). Der sich damit ergebende Gesamtverarbeitungsaufwand

ohne nachfolgende Sortierung von 60 €/t bildet mit dem Wertstoffwert, der aus dem Ankaufspreis des Shreddervormaterials dividiert durch das angenommene Ausbringen in Prozent generiert werden kann, die Selbstkosten der Verarbeitung von Schrott durch den Shredder. [26]

$$SK_n = VK_n + EK_n + \frac{SVK}{A_n} \quad (2)$$

SK_n	=	Selbstkosten-Normal [€/t]
VK_n	=	Gesamtverarbeitungskosten-Normal [€/t]
EK_n	=	Entsorgungskosten-Normal [€/t]
SVK	=	Shreddervormaterialkosten [€/t]
A_n	=	Ausbringen-Normal [%]

Mit dieser Basis können nun unter Berücksichtigung, dass Magnetschrott infolge eines geringeren Durchsatzes zu verminderter Produktion führt und vermehrt Kosten für die Entsorgung generiert, die Verarbeitungskosten der Magnetschrottfraktion berechnet werden.

$$VK_m = \frac{VK_{n,1}}{L_m} \times L_n + VK_{m,2} + VK_{m,s} + EK_m \quad (3)$$

VK_m	=	Verarbeitungskosten-Magnetschrott [€/t]
$VK_{n,1}$	=	Verarbeitungskosten-Normal 1. Durchgang [€/t]
L_m	=	Leistung-Magnetschrott [t/h]
L_n	=	Leistung-Normal [t/h]
$VK_{m,2}$	=	Verarbeitungskosten-Magnetschrott 2. Durchgang [€/t]
$VK_{m,s}$	=	Verarbeitungskosten-Magnetschrott Sortieranlage [€/t]
EK_m	=	Entsorgungskosten-Magnetschrott [€/t]

Um nun die errechneten Selbstkosten für Shredderschrott auf den Magnetschrott anwenden zu können, soll davon ausgegangen werden, dass der Magnetschrott nach seiner Aufbereitung über dieselben Spezifikationen (Schüttgewicht und Reinheitsgrad), wie der Shredderschrott verfügt. Diese Annahme stellt zeitgleich aber die preisliche Grenze dar, da Shredderschrott (E40) am Schrottmarkt eine der teuersten Sorten repräsentiert. Die Selbstkosten des normalen Betriebes vermindert um die erhöhten Verarbeitungskosten für das Vormaterial Magnetschrott ergeben, bezogen auf den Metallgehalt, den anlegbaren Preis des entsprechenden Vormaterials.

$$VP_m = (SK_n - VK_m) \times A_m \quad (4)$$

VP_m	=	Vormaterialpreis-Magnetschrott [€/t]
SK_n	=	Selbstkosten-Normal [€/t]
VK_m	=	Verarbeitungskosten-Magnetschrott [€/t]
A_m	=	Ausbringen-Magnetschrott [%]

In einer früheren Arbeit wurden der Magnetschrottaufbereitung ebenfalls Kosten für eine zusätzliche Absaugung und einen wahrgenommenen erhöhten Verschleiß, gegenüber dem

Normalbetrieb, angelastet. Diese beiden Zusatzkosten sind bei heute gängigen Shreddern nicht mehr festzustellen. [8, S. 48-51]

Die nötigen Annahmen um die gesamte Kalkulation durchführen zu können, sind der Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Annahmen für Magnetschrottpreisberechnung [8, S. 48-49], [26], [36]

	Juni 2008	Dezember 2008
Ankaufspreis Shreddervormaterial [€/t]	250	70
Normal-Leistung [t/h]		30
Magnetschrott Leistung [t/h]		15-30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]		40
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]		30
effektive Produktionszeit [h/Tag]		10,7
effektive Produktionszeit [Tage/Monat]		21,5
Normal-Ausbringen [%]		80
Entsorgungspreis [€/t]		100
ohne Verlade-, Lager- und Transportkosten (= angeliefert)		

Die Ergebnisse der Berechnungen (vgl. Anhang) sind in den folgenden Abbildungen 21 bis 24 grafisch wiedergegeben. Dabei sind die anlegbaren Preise, also jener Einkaufspreis den ein Shredderbetrieb für die jeweiligen Magnetschrottfractionen als Vormaterial bezahlen kann, gegen das Schrottausbringen aufgetragen. Die Fläche, die die beiden Linien in den Grafiken einschließen, gibt die Schwankungsbreite der zu erwartenden Erlöse für Magnetschrott in Abhängigkeit vom Durchsatz des Shredders wieder. Weiters fand der Umstand Berücksichtigung, ob für die Verarbeitung ein oder zwei Durchgänge von Nöten sind. Wie rasant sich die Kosten- bzw. Erlösstruktur im Laufe eines halben Jahres durch den Wechsel von bestimmenden Rahmenbedingungen verändern kann, zeigt der Vergleich von Juni zu Dezember 2008.

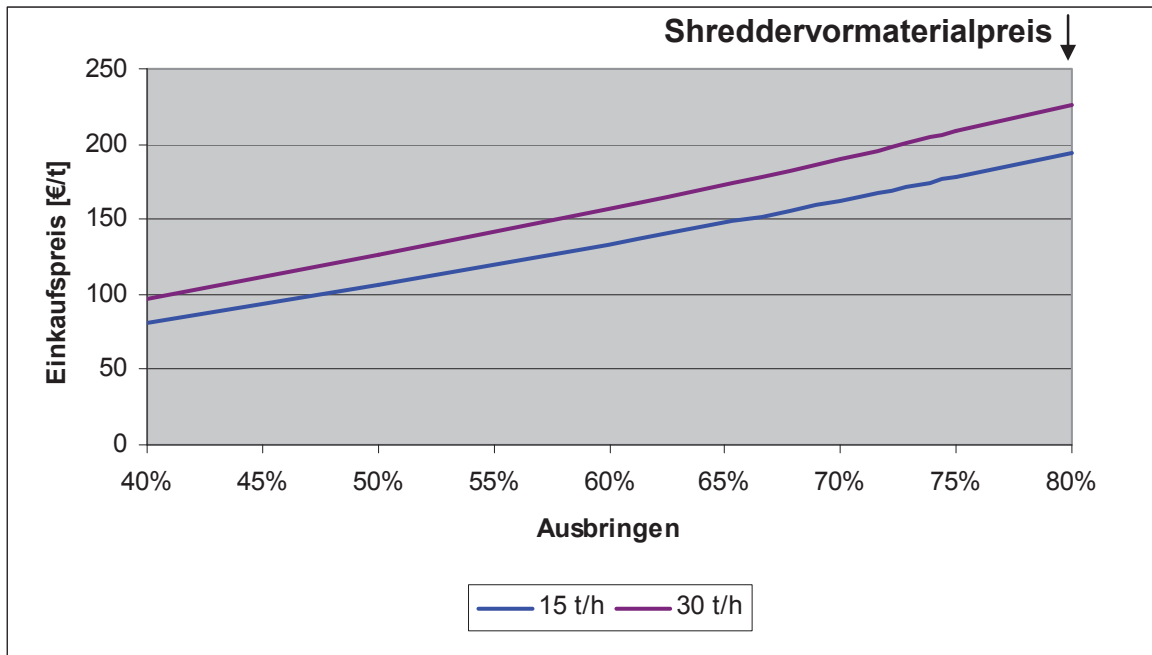


Abbildung 21: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (zwei Durchgänge, Juni 2008)

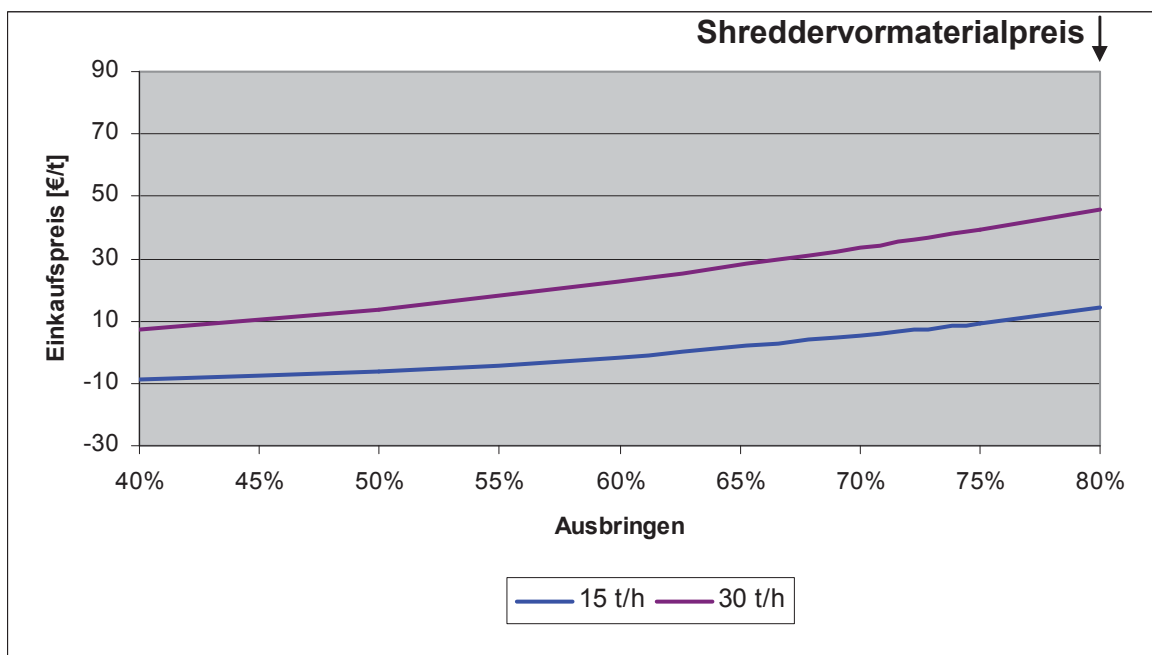


Abbildung 22: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (zwei Durchgänge, Dezember 2008)

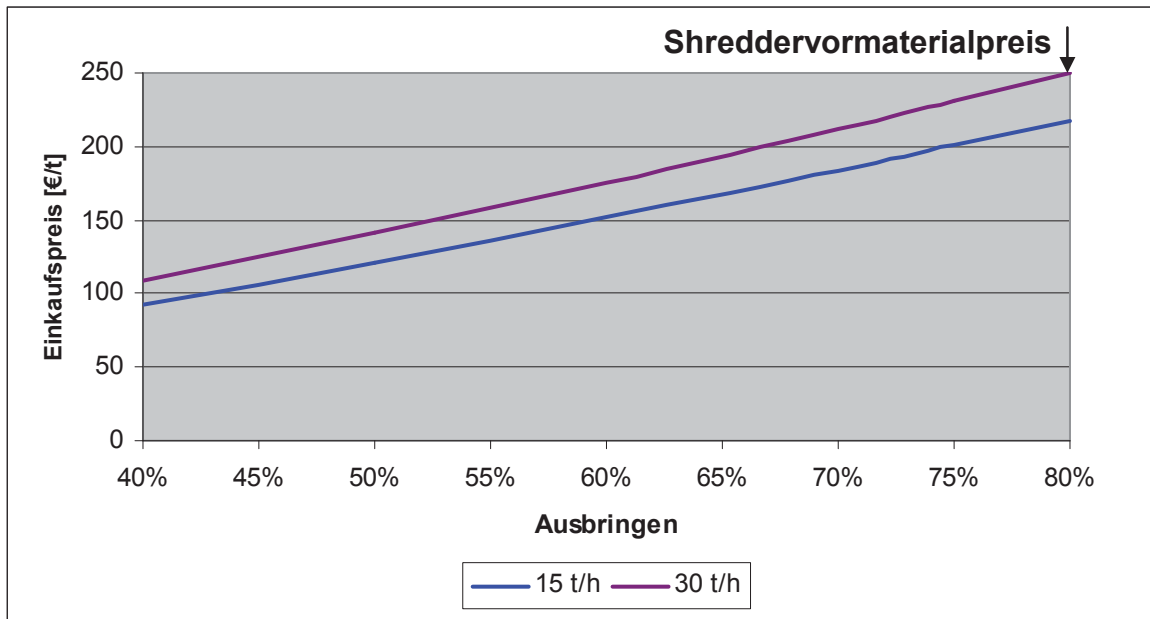


Abbildung 23: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (ein Durchgang, Juni 2008)

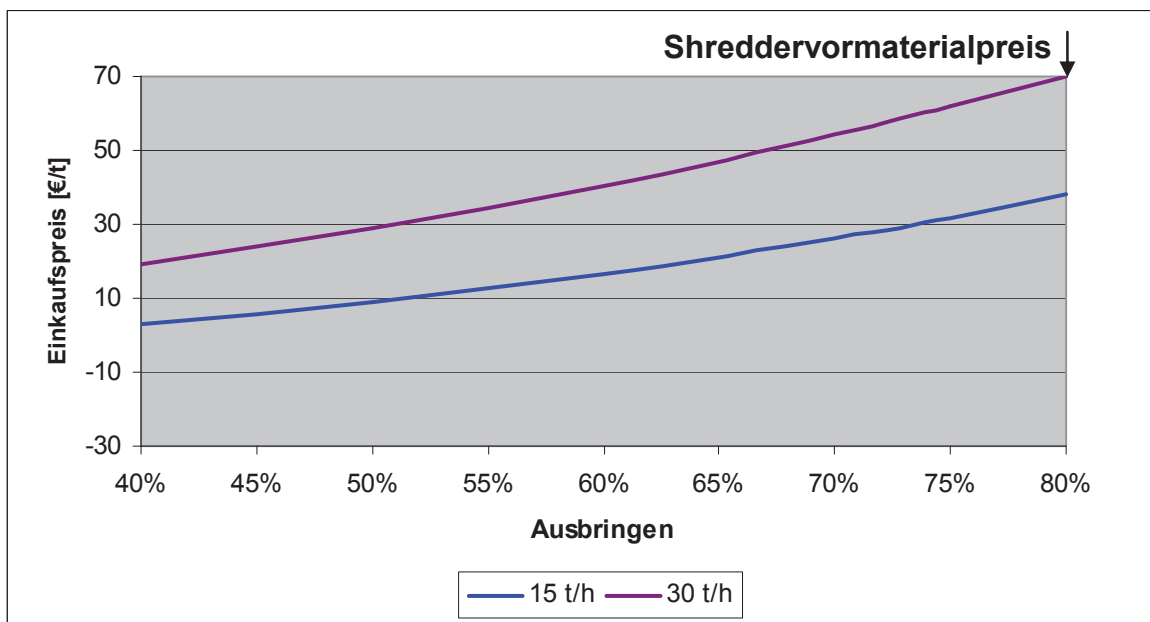


Abbildung 24: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (ein Durchgang, Dezember 2008)

Keine Berücksichtigung in dieser Kostenbetrachtung finden die Gutschriften für die NE-Metalle, die bei Normalbetrieb wohl wesentlich höher einzustufen sind als bei der Magnetschrottverwertung. Mit den somit gewonnenen Daten für die Preise der jeweiligen Magnetschrottfractionen ist ein Kostenvergleich mit den Ergebnissen der Kalkulation für die Voraufbereitung – unterteilt in zwei Szenarien – möglich. [8, S. 51-53]

5.3 Vorkalkulation – Szenario 1

Die erste Möglichkeit der Bearbeitung von Magnetschrott zielt im Grunde genommen darauf ab, ohne nachfolgende Aufbereitung mit dem Shredder, eine Schrottqualität zu erreichen, die dem Stahlwerker reichen würde. Dies bedeutet, dass die Vorgaben der Schrottsortenliste in Bezug auf die Sorte E40 als Herausforderungen an die Aufbereitung dienen. Somit gelten bei diesem Szenario ein Eisengehalt von nahezu 100%, eine Schüttdicke von $> 0,9 \text{ m}^3/\text{t}$ und die geforderten chemischen Analysenwerte als erstrebenswert. [6, S. 7-10]

Die Realisierung dieses Verfahrensschritts wird aus wirtschaftlichen Erfordernissen heraus, im Gegensatz zu Szenario 2 (vgl. Kapitel 5.4), wohl nur als Endstufe der Abfallbehandlungsanlage sinnvoll sein, da somit unnötige Transportkosten vermieden werden können. Die Preisfindung der entstehenden Fraktion orientiert sich, wie die Vorgaben der Endqualität, am jeweils gehandelten Preis für die Sorte Shredderschrott (E40). Es bleibt dabei zu berücksichtigen, dass die erforderlichen Mengen um in ein Stahlwerk zu liefern, durch mechanische Abfallbehandlungsanlagen nicht erreicht werden können – dieser Schrott also mit Abschlägen seinen Absatz im Schrotthandel finden müsste.

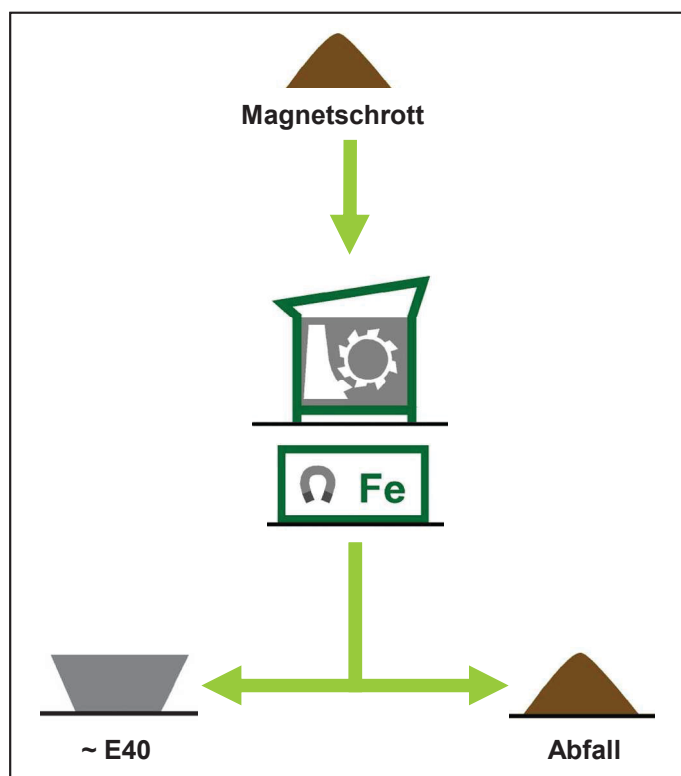


Abbildung 25: Visualisierung Szenario 1

5.3.1 Kostenkalkulation

Um die spezifischen Behandlungskosten, also den Aufwand in Euro pro Tonne Magnetschrott, im Vorhinein abzuschätzen, wird nach dem Schema aus Kapitel 5.1 vorgegangen. Die dafür verwendeten Daten sind entweder der Fachliteratur entnommen

oder wurden durch Befragungen im Laufe der Arbeitserstellung gewonnen. Der Magnetschrotinput für das Voraufbereitungsaggregat wurde für alle Beispiele mit 500 bis 2.000 Jahrestonnen angenommen. Dies entspricht in etwa dem Anfall, der in österreichischen MA-Anlagen mit Kapazitäten von 15.000-70.000 t/a – bei 3%-igen Metallgehalt – produziert werden wird.

In der Abfallwirtschaft überwiegt die lineare Abschreibungsmethode, die die Investitionskosten gleichmäßig auf die geplante Lebensdauer verteilt. Generell werden für mobile Geräte fünf Jahre und für Maschinen- und Anlagentechnik zehn Jahre als Nutzungsdauer verwendet. Es wird von einer 100%-igen Fremdfinanzierung ausgegangen und für die Verzinsung der für die Zeit der Berechnung vorherrschende Zinssatz am Kapitalmarkt berücksichtigt. Aus diesen Informationen wird der Kapitaldienst für das Aggregat berechnet.

Die Abschätzung des Personalbedarfs erfolgt über die jeweiligen Betriebsstunden, die sich aus eingesetzter Menge und dem vorgegebenen Durchsatz (3 t/h) ergeben. Über den durchschnittlichen Stundenlohn ergeben sich somit die Personalkosten. Die kalkulierten Betriebsstunden bilden auch die Berechnungsgrundlage für die Energiekosten. Mit dem voraussichtlichen Energiebedarf, einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,66 und dem durchschnittlichen Energiepreis werden die Energiekosten für das Aggregat ermittelt. Die Kosten für Wartung- und Instandhaltungskosten bzw. Verschleiß werden auf den Anlagekapitalbedarf bezogen und gehen mit einem pauschalen Prozentsatz von 3% in die Berechnung mit ein.

Generell sind die Kosten für den Transport in Abhängigkeit vom Standort der Anlage sehr unterschiedlich. Darum wurde hier versucht, mit einer durchschnittlichen Distanz von 200 km einen Radius zu definieren, der für die meisten Fälle in Österreich eine genügende Abschätzung darstellt. Somit wurden die Transportkosten für die erwarteten Fraktionen Schrott und Abfall über den Dieselpreis, Nutzlast der Fahrzeuge und der vorhin erwähnten Distanz kalkuliert. Der zu Grunde gelegte Preis für die Abfallentsorgung gibt Aufschluss über die Kosten, die je nach Anfallmenge in das Schema mit einzubeziehen sind.

Für die Wirtschaftlichkeit entscheidend – und daher nicht zu vergessen – ist die Tatsache, dass der Betreiber der Restabfallbehandlungsanlage auch ohne eine Voraufbereitung für seinen Magnetschrott entweder Erlöse generiert oder Zuzahlungen für die Abnahme leisten muss. Dieser Umstand findet seinen Eingang mit der Berücksichtigung der in Kapitel 5.2 berechneten Einkaufspreise für unaufbereiteten Magnetschrott.

Sämtliche für die Vorkalkulation verwendeten Annahmen sind in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Annahmen zur Vorkalkulation Szenario 1

	Jun 2008	Dezember 2008
Investitionssumme [€]	200.000	
Zinssatz [%]	4,94	3,39
Nutzungsdauer [a]	10	
Durchsatz [t/h]	3	
Personalkosten [€/h]	35	
Personalstunden [h]	¼ der Betriebsstunden	
Energieaufwand [kW]	99	
Energiepreis [€]	0,16	
Kraftstoffverbrauch LKW [l/100 km]	35	
Nutzlast LKW [t]	20	
Dieselpreis [€/l]	1,40	0,95
Distanz zum Stahlwerk bzw. Abfallverwerter [km]	200	
Entsorgungskosten [€/t]	150	
Shredderschrottpreis [€/t]	441	209
Mischschrottpreis (80% Fe) [€/t]	250	70

5.3.2 Bewertung

Da das erste Szenario darauf basiert, den Magnetschrott – egal wie viel Prozentanteil an Eisen dieser aufweist – in eine reine Schrottfraction bzw. Abfallfraction zu teilen, werden die kalkulierten Kosten der Aufbereitung den Erlösen gegenübergestellt, die am Markt für Shredderschrott erreichbar sind. Dies stellt gleichzeitig den Grenzfall für die Kostenbetrachtung dar, da die zu erwartenden Mengen und die realistisch eingeschätzten Qualitäten wohl für Abschläge von diesem Preisniveau sorgen werden. Als eine Art Sensitivitätsanalyse kann der Vergleich der Situationen zu Beginn und Anfang der Arbeitserstellung gelten. Die massiven Änderungen der wirtschaftlichen Gegebenheiten am Schrottmarkt im letzten halben Jahr haben auch die Kostenstruktur aber vor allem die zu erzielenden Erlöse in starke Turbulenzen gebracht. Eine Risikobetrachtung der Investitionsentscheidung wurde somit nicht mit dem willkürlichen Ändern von wichtigen Einflussgrößen auf die Berechnung erreicht, sondern mit tatsächlich aufgetretenen Änderungen am Markt.

Die Ansicht der prozentuellen Aufteilung der unterschiedlichen Kostenparameter filtert die wichtigsten Kostentreiber für die Aufbereitung heraus (vgl. Abbildung 26). Für die Darstellung wurde eine Anlagenkapazität von 1.000 t/a ausgewählt, da diese Menge mehr oder weniger den durchschnittlichen Anfall an Magnetschrott widerspiegelt, der in österreichischen mechanischen Abfallbehandlungsanlagen produziert wird.

Die Kosten für Personal (2,92 €/t) und Energie (5,28 €/t) sind als konstant anzusehen – also unabhängig vom Anlageninput. Wesentlich beeinflusst vom Anlageninput werden logischerweise der Kapitaldienst (26,57 €/t) und auch die Instandhaltungskosten (0,8 €/t). Die tatsächlichen spezifischen Behandlungskosten, die nur schwer beeinflusst werden können, belaufen sich somit bei einem Input von 1.000 t/a auf 35,57 €/t. Auch die Transportkosten (4,91 €/t) der beiden Fraktionen Schrott und Abfall, die ebenfalls auf die Aufbereitungskosten aufgeschlagen werden, bleiben in Summe gesehen konstant. Eine Kontrollrechnung der Transportkosten mit einer im Rahmen der Datenbeschaffung genannten Durchschnittszahl

von 1,7 €/km Kosten für einen LKW mit Walkingfloor bei 90 m³ Ladekapazität kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Gesamtkosten der Aufbereitung belaufen sich somit auf 40,48 €, wobei der Kapitaldienst mit zwei Drittel ins Gewicht fällt.

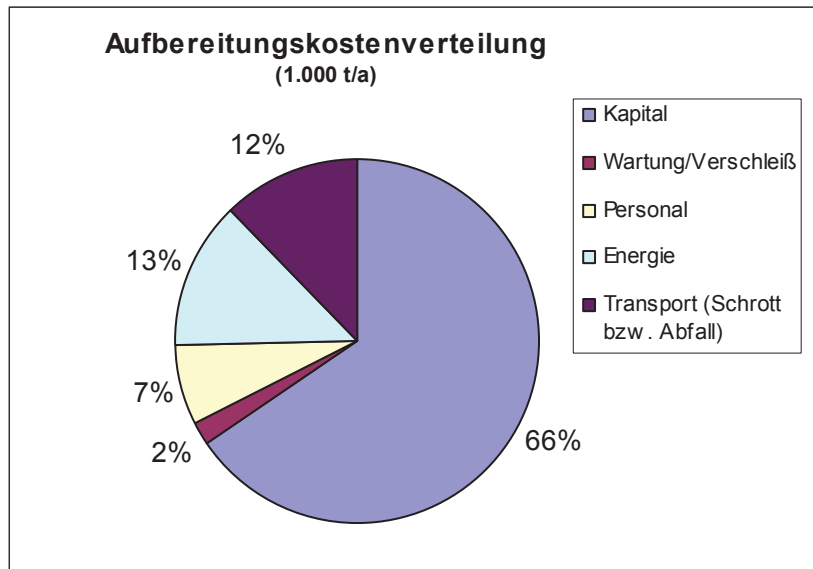


Abbildung 26: Aufbereitungskosten (1.000 t/a, Juni 2008)

Der wahre Kostentreiber allerdings ist die Abfallentsorgung, die bis zu 100 €/t ausmachen kann. Besonders für schlechte Magnetschrottqualitäten stellt sich die Entsorgung als bestimmender Faktor für die Rentabilität der Aufbereitung dar. Falls die Aufbereitung auf dem Gelände der Abfallbehandlungsanlage durchgeführt wird, müssen diese Kosten ebenfalls in Betracht gezogen werden, da der erneute Input des erzeugten Abfalls in die mechanische Aufbereitungsstufe wiederum Kosten verursacht.

Die Rentabilität eines Aufbereitungsaggregats ergibt sich durch die Gegenüberstellung der erwarteten Erlöse zu den im Voraus kalkulierten Kosten des Prozesses. Dazu wurde die folgende Grafik erstellt, die je nach gewähltem Anlageninput den Gewinn bzw. Verlust anzeigt, der sich durch diese Gegenüberstellung einstellen sollte. Dabei wurden sämtliche Kostenfaktoren, die nach dem Schema (vgl. Kapitel 5.1) vorgegeben sind, berücksichtigt. Das heißt, es wurde auch der Einfluss der Erlöse oder der zu zahlenden Zuschläge der unaufbereiteten Magnetschrottfraktion, die in Kapitel 5.2 berechnet wurden, eingebunden.

Die Berechnung der Erlöse gestaltet sich in diesem Szenario als sehr einfach. Der jeweilige Shredderschrottpreis (E40) multipliziert mit dem Anteil an Eisen im Magnetschrott ergibt die voraussichtlichen Erlöse für den aufbereiteten Schrott. Dem gegenüber stehen die vorhin erwähnten Aufbereitungskosten in Abhängigkeit vom Anlageninput und die Entsorgungskosten bzw. der Gewinn oder Verlust, der sich ohne Aufbereitung einstellen würde, in Abhängigkeit von der Qualität der Magnetschrottfaktionen. Als Beispielrechnung wird wieder ein Anlageninput von 1.000 t/a herangezogen und die Ergebnisse in Tabelle 18 dargelegt.

Tabelle 18: Rentabilitätsberechnungsbeispiel für 1.000 t/a Anlageninput (Juni 2008)

[€/t]	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös aufbereitet	176,4	220,5	264,6	308,7	352,8	396,9
Aufbereitungskosten	40,48	40,48	40,48	40,48	40,48	40,48
Entsorgungskosten	90	75	60	45	30	15
Erlös unaufbereitet	81	106,25	133,50	162,76	194	227,25
Gewinn/Verlust	-35,08	-1,23	30,62	60,46	88,32	114,17

Genau nach diesem Schema wurde mit unterschiedlichen Anlageninputmengen versucht die Grenze der Rentabilität zu lokalisieren. Mit Hilfe einer grafischen Darstellung (vgl. Abbildung 27) ist demnach festzustellen, dass sich eine Aufbereitung, wie sie das Szenario 1 vorsieht, ab einem Eisengehalt von 60% ab 500 t/a rechnen würde und mit der Erhöhung des Anlageninputs auch ein verminderter Fe-Anteil in Kauf genommen werden kann. Der entscheidende Faktor für die Verschiebung der Rentabilität nach hinten ist dabei der Kapitaldienst, dessen Mengenabhängigkeit diesen verursacht und somit die Aufbereitung wesentlich verbilligt. Da die zu erzielenden Erlöse und die gebotenen Preise für die unaufbereitete Magnetschrottfraktion in gewisser Weise korrelieren, liegt es auf der Hand, dass der Wandel im Rahmen der gegebenen Marktsituation in diesem Szenario 1 keinen wesentlichen Einfluss auf die Rentabilität hat.

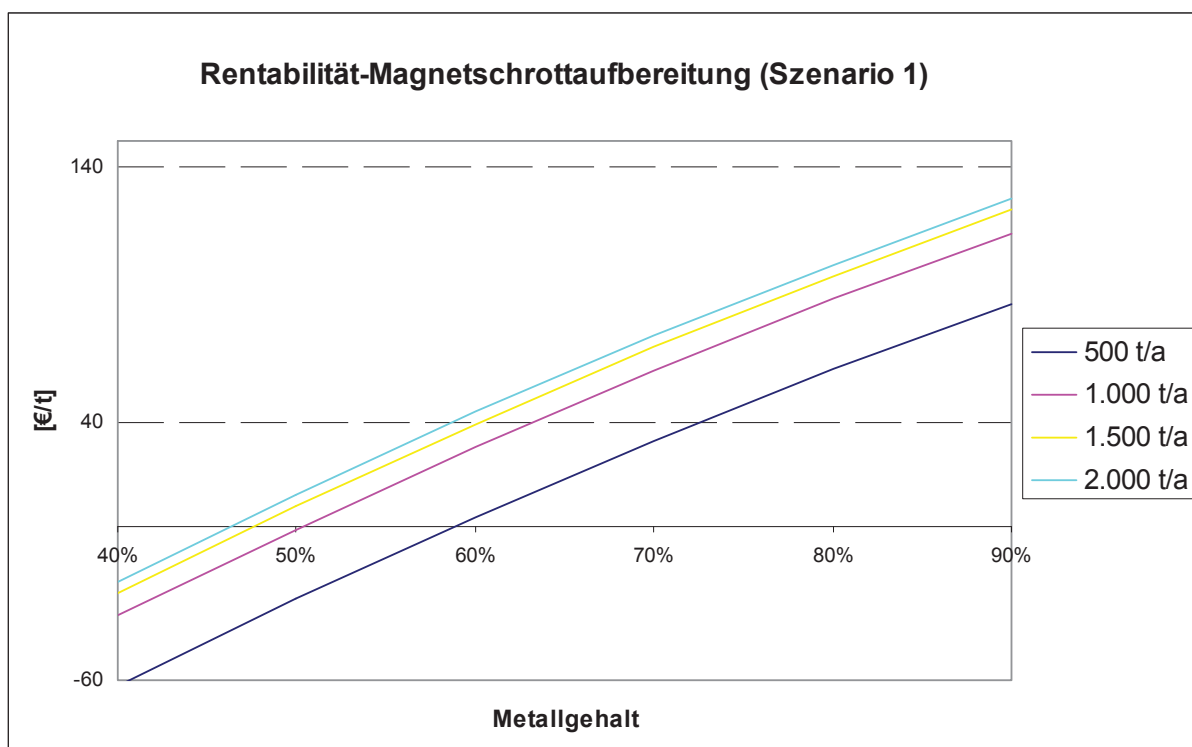


Abbildung 27: Rentabilität der Magnetschrottaufbereitung (Szenario 1 – Juni 2008)

Abgesehen von der technischen Realisierbarkeit bleibt letztlich doch noch zu berücksichtigen, dass eine durchschnittliche österreichische Abfallbehandlungsanlage wohl nicht in der Lage ist, genügend Magnetschrott zu produzieren, um direkt in ein Stahlwerk zu

liefern. Daher muss davon ausgegangen werden, dass diverse Abschläge aufgrund der Menge und Qualität dazu führen, dass sich die Rentabilität der Aufbereitung erst bei Magnetschrotten einstellen wird, die an sich schon sehr reich an Eisen sind. Diese Fakten legen eine zweite Möglichkeit nahe, die darauf basiert, den erzeugten Magnetschrott so aufzubereiten, dass der erste Schritt im Shredder obsolet wird.

5.4 Vorkalkulation – Szenario 2

Die vorhin beschriebenen Probleme bei der Aufbereitung der Magnetschrottfraktion legen eine Voraufbereitung nahe, die mit geringeren Kosten ein zufriedenstellendes Ergebnis produziert. Da auch die Aufbereitung mittels Shredder meistens – je nach Qualität des Magnetschrotts – zwei Durchgänge erfordert und deshalb eine kostenintensive Behandlung verursacht, liegt es auf der Hand, anstatt des ersten Durchgangs eine kostengünstigere Voraufbereitung zu installieren. Eine gemeinsame Vorgehensweise von Abfallbehandlungsanlagen und Schrottaufbereitungsbetrieben kann dabei Synergieeffekte erzeugen und Doppelinvestitionen verhindern. Es ist nämlich sowohl möglich die neu zu errichtende Anlage am Ende der Behandlungskette für Magnetschrott im Rahmen der mechanischen Aufbereitung in der Abfallbehandlungsanlage anzusiedeln als auch die Voraufbereitung am Standort des Schrottaufbereiters durchzuführen.

Die Qualitätsanforderungen für das Szenario 2 definieren die Shredderbetriebe. Dabei spielt natürlich wieder der Eisengehalt die wichtigste Rolle gefolgt von allen Störstoffen und organischen Verunreinigungen, die der Shreddertechnik Probleme bereiten. Das Schema für Szenario 2 zeigt Abbildung 28.

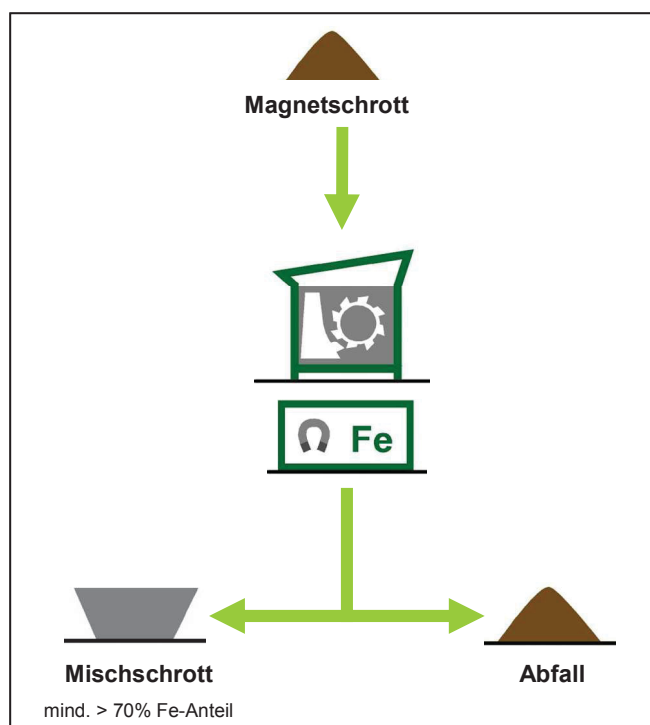


Abbildung 28: Visualisierung Szenario 2

5.4.1 Kostenkalkulation

Die spezifischen Behandlungskosten werden wiederum in Anlehnung an das Schema aus Kapitel 5.1 berechnet (vgl. Kapitel 5.3.1). Auch die dafür verwendeten Daten entstammen einschlägiger Literatur bzw. wurden spezielle Werte durch Befragungen erhoben.

In die Bestimmung des Kapitaldienstes mit linearer Abschreibung und 100%-iger Fremdfinanzierung fließt eine Nutzungsdauer von fünf Jahren und der für die Berechnungszeit am Markt übliche Zinssatz ein. Die Betriebsstunden, die sich über den vorher für das Aggregat festgelegten Durchsatz ergeben, führen über den Faktor 0,25 zum erforderlichen Personalbedarf, der ebenfalls Aufschluss über die zu erwartenden Personalkosten gibt. Wartungs- und Instandhaltungskosten und der Verschleiß gehen mit einem Satz von 3% vom Kapitaldienst in die Berechnung mit ein. Auch die Energiekosten werden, wie in Kapitel 5.3.1, über den voraussichtlichen Energiebedarf multipliziert mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor (0,66) und den derzeitigen Kosten für Strom gebildet.

Der Standort der Anlage entscheidet maßgeblich über die anfallenden Transportkosten. Die durchschnittliche Distanz von 200 km dient im vorliegenden Berechnungsbeispiel als Grundlage, um die dafür vorzusehenden Kosten mit Hilfe des Dieselpreises zu kalkulieren. Die Kosten der Abfallentsorgung dürfen in der Gesamtbetrachtung ebenfalls nicht fehlen.

Sämtliche für die Vorkalkulation verwendeten Annahmen sind in Tabelle 19 zusammengefasst.

Tabelle 19: Annahmen zur Vorkalkulation Szenario 2

	Juni 2008	Dezember 2008
Zinssatz [%]	4,94	3,39
Investitionssumme [€]	100.000	
Nutzungsdauer [a]	5	
Personalkosten [€/h]	35	
Personalstunden [h]	¼ der Betriebsstunden	
Energieaufwand [kW]	99	
Energiepreis [€]	0,16	
Kraftstoffverbrauch LKW [l/100 km]	35	
Nutzlast LKW [t]	20	
Dieselpreis [€/l]	1,40	0,95
Distanz zum Shredder bzw. Abfallverwerter [km]	200	
Entsorgungskosten [€/t]	100	
Fe-Anteil Magnetschrott [%]	60	

5.4.2 Bewertung

Das zweite Szenario bietet genau betrachtet auch zwei Möglichkeiten dessen Wirtschaftlichkeit zu überprüfen. Einerseits führt die Vorgabe, den ersten Durchgang mit dem Shredder durch eine Voraufbereitung zu ersetzen, zur Festlegung, dass diese, um gewinnbringend zu sein, weniger spezifische Behandlungskosten verursachen soll. Andererseits kann durch eine Voraufbereitung, bei der der Eisengehalt im Magnetschrott eine Aufkonzentrierung erfährt, jener Erlösvorteil genutzt werden, den der Shredderbetrieb

bereit ist, für die bessere Qualität zu bezahlen. Das heißt, es können die Grenzen einer wirtschaftlichen Voraufbereitung mit Hilfe der Ergebnisse aus Kapitel 5.2 definiert werden.

Für beide Möglichkeiten der Bewertung gilt aber, dass die Aufbereitungskosten pro Tonne dieselben bleiben und wiederum nur von der Inputmenge abhängig sind. Auch ob es sich dabei um schon sehr reine oder unreinere Fraktionen von Magnetschrott handelt ist für die spezifischen Aufbereitungskosten uninteressant. Dieser Umstand spielt erst bei der Betrachtung der Abfallentsorgung eine Rolle. Dadurch, dass für dieses Szenario eine geringere Investitionssumme gewählt wurde als für das erste, ergibt sich schließlich auch der niedere Kapitaldienst. Dennoch fällt der Kapitaldienst auch in diesem Szenario nicht viel weniger ins Gewicht und ist der entscheidende Kostentreiber, ohne Berücksichtigung der Entsorgung. Wieder wurde die Aufteilung der Gesamtkosten der Aufbereitung auf einen Jahresdurchsatz von 1.000 t/a bezogen (vgl. Abbildung 29).

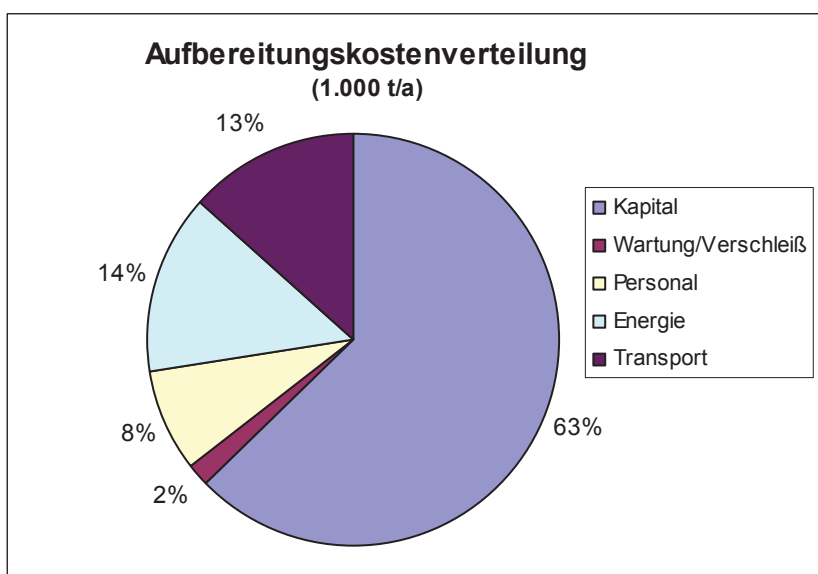


Abbildung 29: Aufbereitungskostenverteilung

Um die genauen Kosten der Abfallentsorgung zu bestimmen, ist die Kenntnis über den Reinheitsgrad der Magnetschrottfraktion erforderlich. Da die Entsorgungskosten den bestimmenden Faktor für die Rentabilität darstellen und hier mit bis zu 100 €/t zu Buche schlagen, wird folgend mit einer 60%-igen Fraktion gerechnet. Dies vor allem, da dieser Wert sehr oft in den Erhebungen in der Praxis gefallen ist und er eine Sicherheit für die Berechnung darstellt – falls die Fraktionen einen höheren Eisengehalt aufweisen.

Möglichkeit 1: Aufbereitung um 1. Durchgang mit dem Shredder zu ersetzen

Für die erste Möglichkeit der Kontrolle reichen die Vorgaben an die spezifischen Behandlungskosten von < 80 €/t bei einem Durchsatz von 15 t/h bis < 40 €/t – Gesetz dem Fall, dass die Magnetschrottfraktion im Shredder ebenfalls einen Durchsatz von 30 t/h erreichen kann. Der letztgenannte Durchsatz ist wegen der geringeren Dichte aber eher unwahrscheinlich. Diese Vergleichsmöglichkeit ist gleichzeitig die einfachere Variante, weil

die Bearbeitungskosten für Magnetschrott mit dem Shredder sehr einfach nach Formel (3) geschätzt werden können und diese Berechnung unabhängig von der Schrottpreisentwicklung ist.

Da hier nicht alle Möglichkeiten dargestellt werden können, soll ein Beispiel die Thematik näher beleuchten. Abbildung spiegelt den Fall wieder, in der eine 60%-ige Fraktion zu einer 70%-igen Fraktion aufbereitet wird und der Beitrag der Abfallentsorgung zu den Gesamtkosten mit Blau gekennzeichnet ist. Weiters bilden die roten Linien die vorher definierten Grenzkosten unter denen sich eine Voraufbereitung lohnt. In diesem Fall wird hier allenfalls die obere Grenze ab einen Durchsatz von 1.000 t/a zu positiven Ergebnissen führen. Dies setzt aber voraus, dass der Shredder für Magnetschrott spezifische Bearbeitungskosten von 80 €/t ohne folgende Sortierung ansetzt.

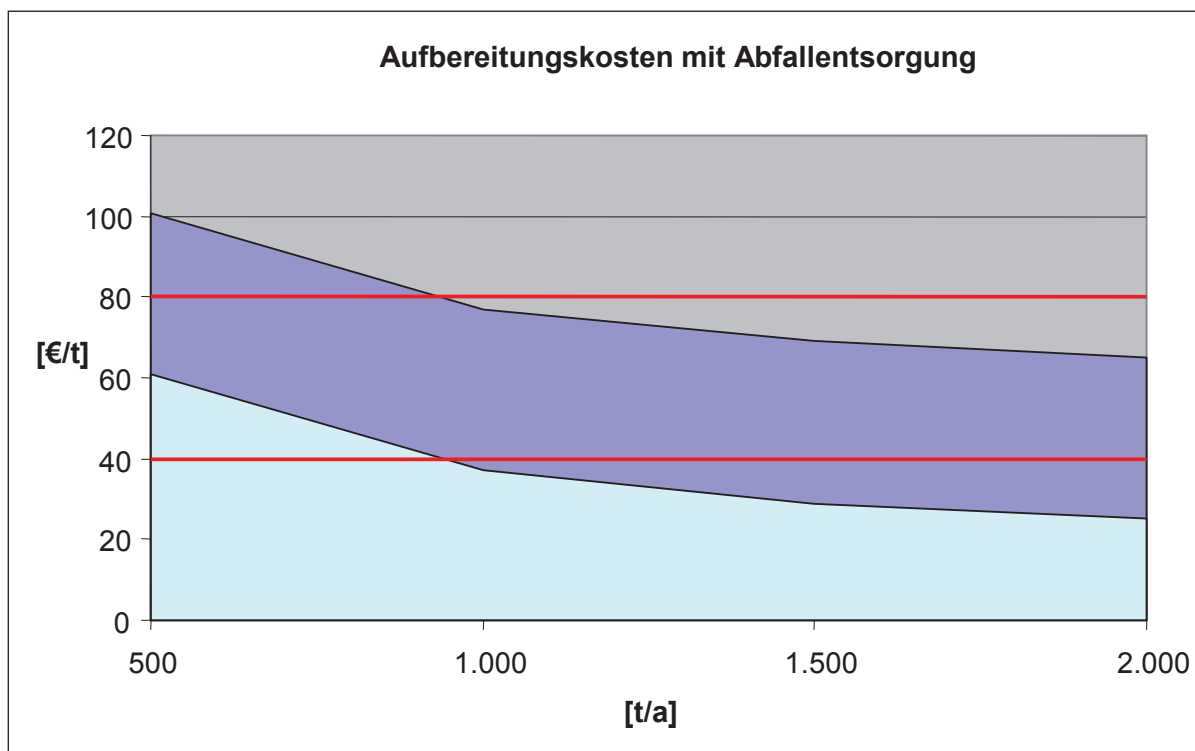


Abbildung 30: Aufbereitungskosten Szenario 2 mit Einfluss der Abfallentsorgung

Da bei dieser Möglichkeit der Bewertung nur die Verarbeitungskosten des Shredders als Maßstab dienen, würde sich auch nichts grundlegendes an der Abbildung ändern, falls eine Aufbereitung zu einer 100%-igen Fraktion gelingen könnte. Der Blick auf die Grafik verdeutlicht den maßgeblichen Einfluss der Abfallentsorgung auf die Wirtschaftlichkeit der Voraufbereitung. Doch grundsätzlich könnte die Variante den ersten Durchgang mit dem Shredder ersetzen und die Spanne zwischen Mehrerlös und Aufbereitungskosten bliebe in der Hand des Betreibers der mechanischen Aufbereitungsanlage.

Möglichkeit 2: Anreicherung des Magnetschrotts

Im Gegensatz zu Möglichkeit 1 beeinflussen die Veränderungen am Markt sehr stark die Ergebnisse hinsichtlich der Rentabilitätsbetrachtung mittels Möglichkeit 2. Die zweite Option bietet zwar abermals die Gelegenheit zu vergleichen um wieviel der zu erwartende Erlös steigt, wenn eine um 10% oder 20% reinere Fraktion angeboten werden kann, es wird aber generell von anderen Vergleichswerten ausgegangen.

Dabei variiert natürlich wieder die Bereitschaft des Betreibers mehr für den aufbereiteten Magnetschrott zu bezahlen mit dem damit erreichbaren Durchsatz in seinem Shredder. Es ist aber möglich jenen Kostenbereich zu finden, der für die nachfolgenden Betrachtungen genügen wird. Diesmal ist der Zeitpunkt für die Erlössituation von entscheidender Bedeutung, da in die Berechnung für den anlegbaren Preis der unterschiedlichen Magnetschrottfractionen der Ankaufspreis für normales Shreddervormaterial eingeht. Somit muss für Juni bzw. Dezember 2008 der jeweilige betriebswirtschaftlich sinnvolle Grenzwert separat bestimmt und mit den spezifischen Behandlungskosten verglichen werden. Die Kosten der Voraufbereitung bleiben dabei, wie oben schon erklärt, annähernd konstant, da nur die „Normal-Verarbeitungskosten“ entscheidend sind. Es ist auch grundsätzlich egal, ob mit dem Aggregat eine Aufbereitung um 10% oder 20% gelingt, die Kosten pro Tonne bleiben dieselben.

Es muss also bei der Vergleichswertfestlegung zwischen niedrigen Qualitäten und höheren Qualitäten unterschieden werden, je nachdem welchen Durchsatz diese aufbereiteten Magnetschrottfractionen im Shredder beim zweiten Durchgang erreichen. Mit Hilfe des Kapitels 5.2 werden nun durch Differenzbildung zwischen den Werten für die unterschiedlichen Reinheitsgrade der Magnetschrotte die Schwellen bestimmt unter denen sich eine Voraufbereitung lohnen würde.

Als Beispiel soll hier eine 60%-ige Fraktion dienen für die der Betreiber der Shredderanlage im Juni 2008 bei einem Durchsatz von 15 t/h 151,5 €/t bezahlt hat. Da er für die 80%-ige Fraktion 218 €/t bei demselben Durchsatz bezahlt hätte, könnte eine Aufbereitung unter 66,5 €/t zu einem Mehrerlös führen, falls eine Anreicherung auf 80% stattfinden würde (vgl. Anhang).

Nach diesem Beispiel ergeben sich die Werte für die Schwellen in Abhängigkeit von der Qualität und der Zeit (Juni 2008 bzw. Dezember 2008). Die Schwellen werden für eine Anreicherung um 10% bei niedrigen Qualitäten mit 31 €/t bzw. 8 €/t und für etwas höhere Qualitäten mit 35 €/t bzw. 12 €/t angesetzt. Dieselbe Vorgehensweise ermöglicht die Grenzen für eine 20%ige Aufkonzentrierung bei minderen Qualitäten mit 63 €/t bzw. 17 €/t und bei besseren Qualitäten mit 70 €/t bzw. 25 €/t festzulegen.

Wieder soll wie vorher ein konkretes Beispiel zum besseren Verständnis dienen. Da es sich um eine mindere Magnetschrottqualität für den Shredder (15 t/h) handelt und der Zeitraum mit Juni 2008 festgelegt ist, gilt die oben bestimmte Schwelle von 63 €/t für die Voraufbereitung als Maßlatte. Die Aufbereitungskosten samt Entsorgungs- und Transportkosten – die verwendeten Magnetschrottpreise sind als angeliefert zu verstehen – belaufen sich in diesem Fall bei einem Durchsatz des Aggregats von 1.000 t/a auf 68,97 €/t.

Das heißt, die Schwelle wäre überschritten und die Voraufbereitung würde zu einem Verlust führen. Könnten 1.500 t/a bearbeitet werden, würden die Kosten auf 61,02 €/t sinken und damit knapp unter der Schwelle sein. Da nun die Definition der Qualitäten eine sehr schwierige ist, wurde aus den beiden Schwellenwerten eine Zone gebildet, ab der sich die Aufbereitung von Magnetschrott mit dem Ziel der Anreicherung des Fe-Anteils rentieren würde.

Die folgende Abbildung kennzeichnet jenen Bereich, der das Erreichen der Gewinnzone ausweist. Der untere Wert der jeweiligen Zonen gilt dabei für bessere Magnetschrottqualitäten und der obere Wert für schlechtere. Logischerweise führt eine Anreicherung um 20% zu mehr Erlös – bei denselben Behandlungskosten – als eine um 10%. Das Ziel einer Aufbereitung ist selbstverständlich ein möglichst reines Gut zu erhalten. Deshalb wird hier nur die Option einer Anreicherung um 20% dargestellt, d. h. von 60% auf 80%. Zur besseren Vergleichbarkeit wird angenommen, dass sich im Laufe des letzten Jahres der Zinssatz für den Kapitaldienst nicht verändert hat. Daher bleiben auch die spezifischen Behandlungskosten im Jahresverlauf konstant und können mit den unterschiedlichen Schwellenwerten für Juni 2008 (rot) bzw. Dezember 2008 (schwarz) verglichen werden. Der Beitrag der Abfallentsorgung zu den Gesamtkosten ist mit blau gekennzeichnet.

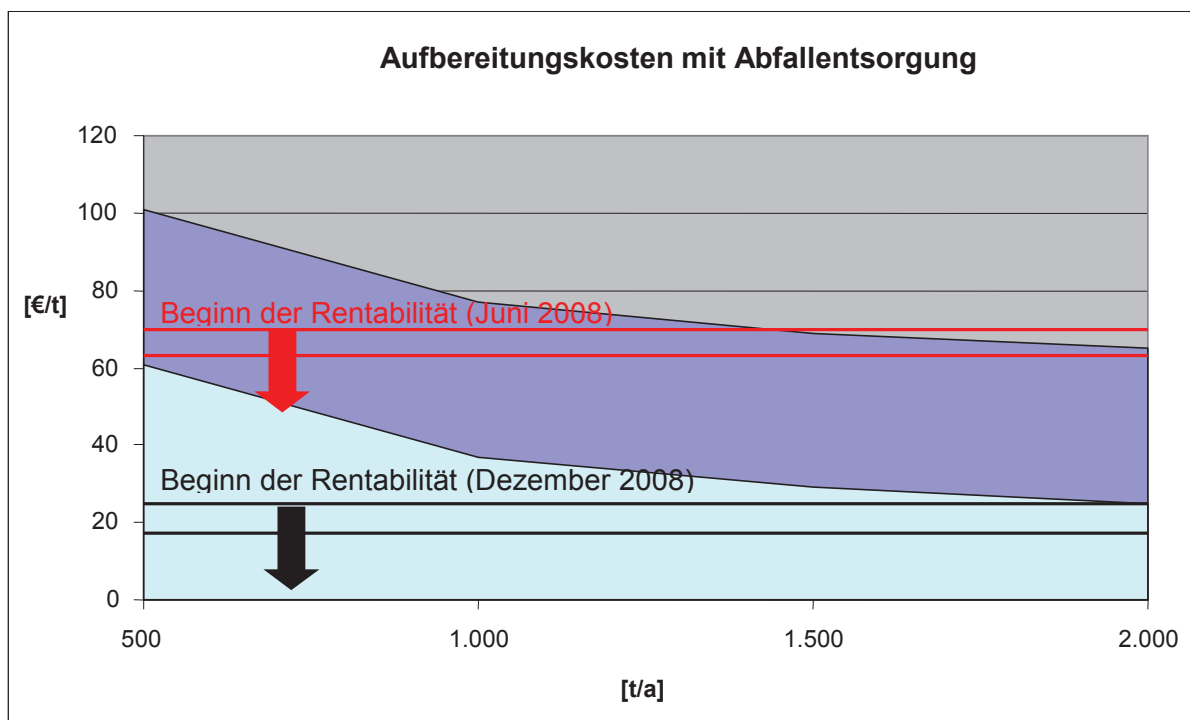


Abbildung 31: Aufbereitungskosten gegenüber definierten Schwellenwerten

Abbildung verdeutlicht, dass die „Gewinnzone“ für die Voraufbereitung sehr stark von den wirtschaftlichen Gegebenheiten am Schrottmarkt abhängig ist. Diese Thematik behandelt die Gegenüberstellung von Juni und Dezember 2008. Zu Marktsituationen, wie sie im Dezember 2008 herrschten, wird eine Voraufbereitung von Magnetschrott keinesfalls von

wirtschaftlichem Erfolg gekrönt sein. Dabei ist der Erfolg der Anreicherung nebensächlich, da die Kosten pro Tonne immer konstant bleiben.

Da die Verarbeitungskosten des Shredderbetreibers der Annahme unterliegen, dass diese über das Jahr gesehen gleich bleiben, spielt nur noch der tatsächliche Wertstoffwert (€/t reines Fe) eine Rolle. Bei sehr hohen Preisen für gängiges Vormaterial, die dementsprechende Erlöse nach sich ziehen, ist es auch möglich für mindere Schrottqualitäten – in diesem Fall Magnetschrott – mehr zu bezahlen. Der Eisenanteil im Magnetschrott ist somit durch das Steigen des Wertstoffwertes auch mit geringeren Konzentrationen von Interesse. Die damit erzielte Wertschöpfung, die bisher im verminderten Umfang der Shredderbetrieb lukrieren konnte, kann durch den Einsatz einer gezielten Voraufbereitung von Magnetschrott im Rahmen der Abfallbehandlung stattfinden. Demnach ist eine Voraufbereitung, die sich eine Aufkonzentrierung zum Ziel gesetzt hat, nur von wirtschaftlichem Erfolg gekrönt, wenn der Wertstoffwert sehr hoch ist.

5.5 Voraufbereitungsversuch

Aus einschlägiger Literatur und Erhebung in der Praxis geht hervor, dass die Magnetschrottfraktion bei der Abfallaufbereitung mittels ballistischer Separation einen besonders hohen Reinheitsgrad aufweist und damit über eine hohe Qualität verfügt. Diese Tatsache führt zur Überlegung eine schon gewonnene Magnetschrottfraktion aus einer gängigen mechanischen Aufbereitungsanlage mit Hilfe der ballistischen Separation so aufzubereiten, dass eine Aufkonzentrierung des Eisens stattfindet.

Ein ballistischer Separator teilt sein Aufgabegut wie in der Tabelle 20 wiedergegeben in drei oder vier nutzbare Fraktionen.

Tabelle 20: Fraktionen der ballistischen Separation [10, S. 27]

1.	Zweidimensionale Fraktion: großflächige, weiche und flache Teile
2.	Dreidimensionale Fraktion: kubisch, rollende und steife Anteile
3.	Unterkorn: kleine Teilchen und Verunreinigungen
4.	Überkorn: größere Teile, die durch Lochung abgetrennt werden

Die nach oben und in Längsrichtung weisenden Siebelemente vollführen eine Auf- und Abwärtsbewegung, die das Aufgabegut, je nach physikalischer Eigenschaft, in die entsprechende Richtung transportieren oder über die vorhandene Lochung absondern. Leichte zweidimensionale Teile, die durch die Siebung nicht abgetrennt werden, gelangen so an das obere Ende der Maschine bzw. werden die schweren, rollenden Anteile am unteren Ende ausgetragen. Den Aufbau des Aggregats und das Prinzip der Trennung visualisieren Abbildung 30 bzw. Abbildung 31. [10 S. 27-28]



Abbildung 30: Ballistischer Separator [38]

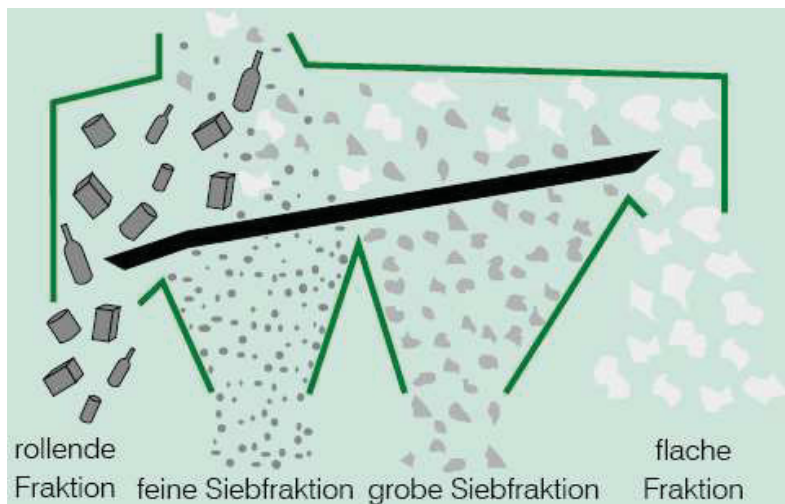


Abbildung 31: Verfahrensschema Brini MK

5.5.1 Versuchsablauf und Ergebnisse

Zur Veranschaulichung des Versuches wird mit Abbildung 32 das Inputmaterial und mit Abbildung 33 die mittels ballistischer Separation gewonnenen Outputfraktionen gezeigt. Die Aufgabe erfolgte mit einem Radlader, wobei das jeweilige Schaufelgewicht und die Zeit für die Bearbeitung zur Bestimmung des durchschnittlichen Durchsatzes festgehalten wurden. Dabei wurde einerseits Magnetschrott aus Gewerbe und Siedlungsabfall nach der Vorzerkleinerung und aus der Nachzerkleinerung als Versuchsmasse herangezogen.



Abbildung 32: Inputmaterial

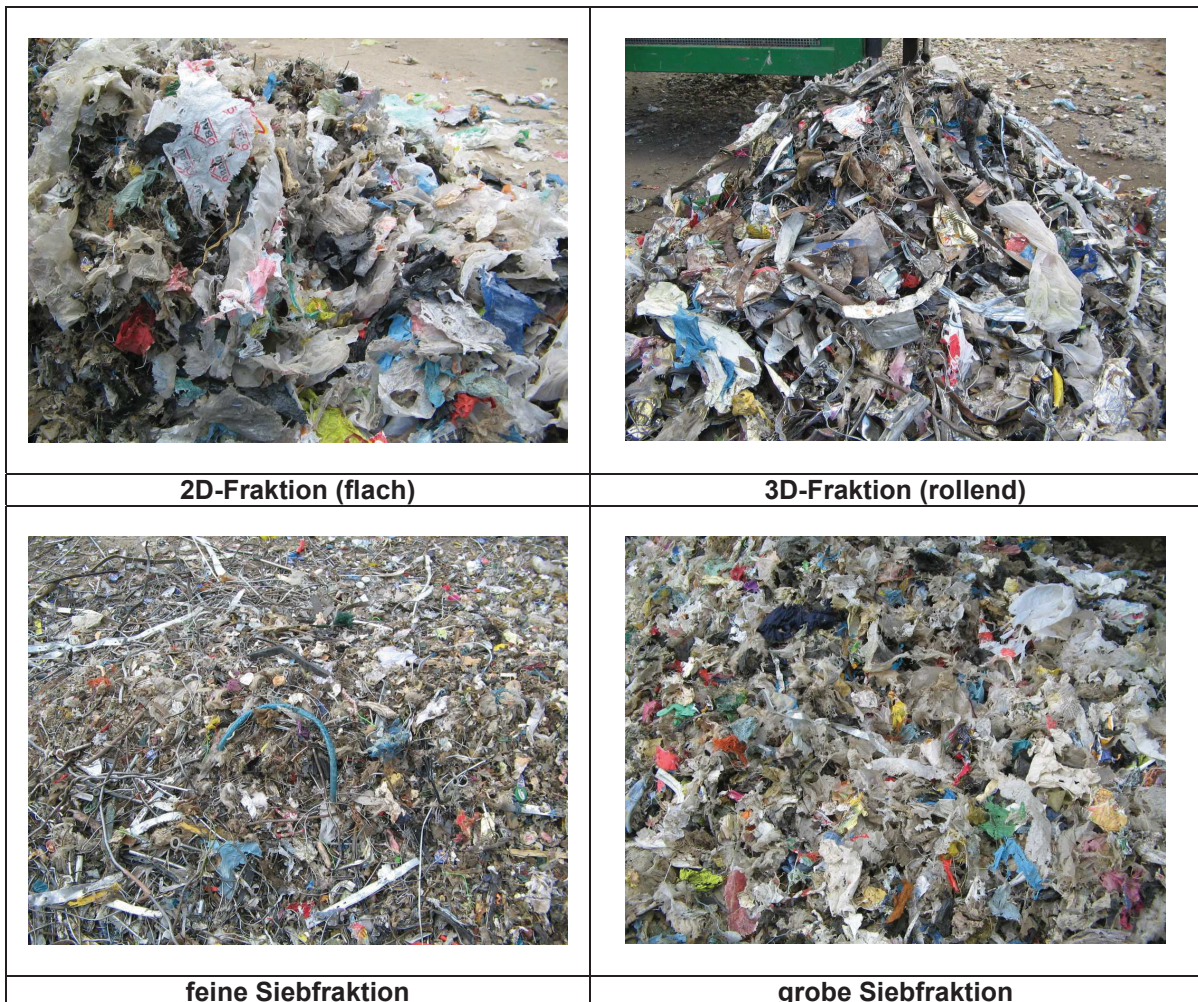


Abbildung 33: Outputfraktionen

Sowohl für den Magnetschrott aus der Vorzerkleinerung als auch für den aus der Nachzerkleinerung findet optisch bewertet eine Verbesserung des Reinheitsgrades statt. Dabei ist aber keine Fraktion gänzlich von Anhaftungen befreit und somit eine 100%-ige

Trennung nicht gegeben. Ähnlich den geschilderten Problemen der Shredderbetreiber haben auch hier wiederum verhakte Drähte, die ungewünschte Fraktionen mit sich reißen, und durch Metallstücke eingeklemmte Störstoffe negativen Einfluss auf eine gelungene Aufbereitung.

Wie in Kapitel 3.2 dargelegt, ist die Bestimmung der Zusammensetzung von Magnetschrott und damit die Erkenntnis über den Eisengehalt eine sehr aufwendige und schwierige Arbeit. Dennoch wurde versucht, den Eisengehalt über eine einfache Sortieranalyse von Input- und Outputmaterial zu bestimmen. Abbildung 34 zeigt in einer Gegenüberstellung die Ergebnisse der Analyse und legt im Rahmen einer alleinigen – zugegebener Weise schwierigen – optischen Bewertung nahe, dass eine maßgebliche Verbesserung der Fraktionen stattgefunden hat.

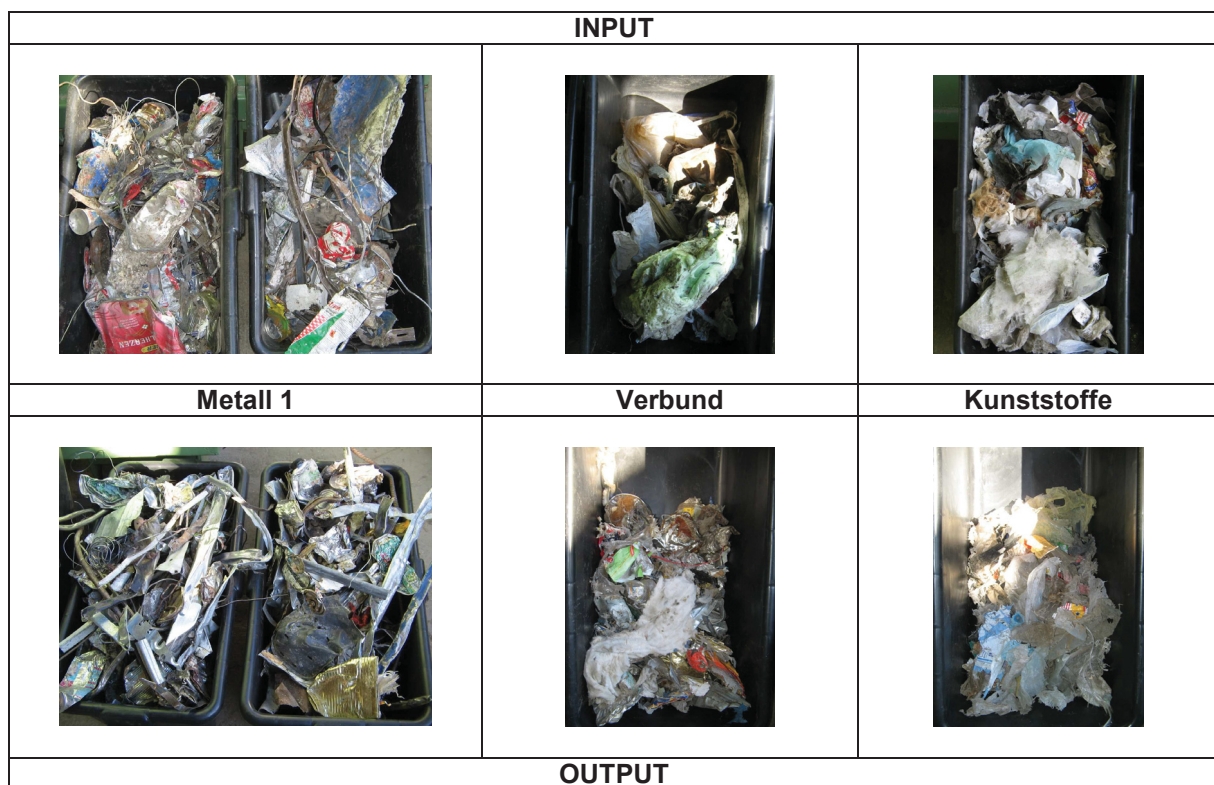


Abbildung 34: Vergleich Sortierung Input zu Output

5.5.2 Verfahrensschema und Kostenkalkulation

Ausgehend von diesem Versuch und dem daraus gewonnenen Wissen über das Verhalten des Magnetschrotts bei der Aufbereitung mit dem Brini, kann ein Vorschlag über ein Verfahren abgeleitet werden, das in Abbildung 35 wiedergegeben wird.

Dabei durchläuft die 3D-Fraktion eine Sortierung zur Trennung von reinen Eisem (~E40) von legierten Bestandteilen. Diese ist ausgestaltet als Sortierkabine und wird mittels Radlader beschickt. Die 2D-Fraktion, die keine massiven Störstoffe mehr aufweisen darf, wird über ein Förderband zur Nachzerkleinerung und anschließenden Magnetabscheidung transportiert.

Auch die Feinfraktion < 30 mm erfährt eine Magnetabscheidung zur Abtrennung von Kunststoffen.

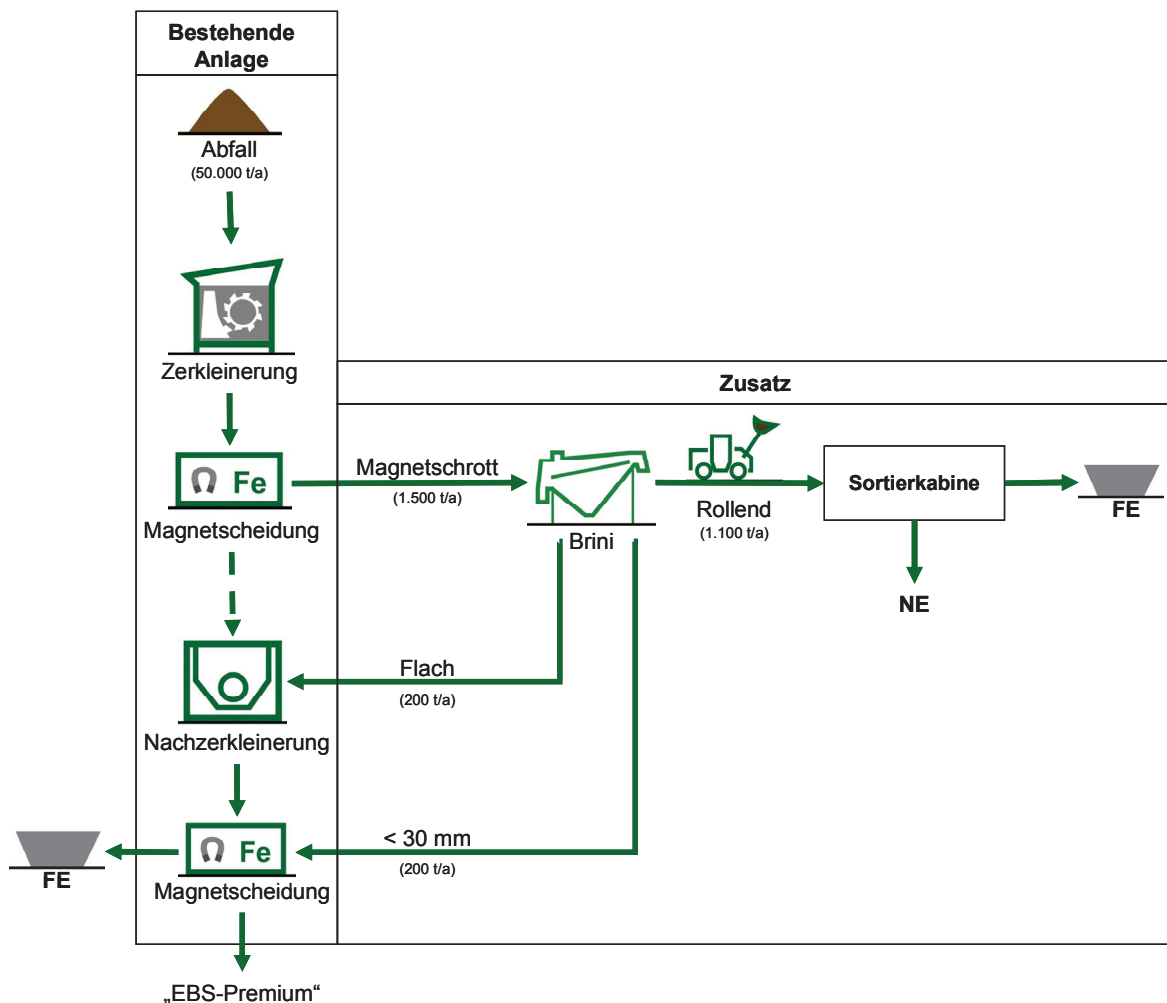


Abbildung 35: Verfahrensbild Magnetschrottaufbereitung mit Brini

Natürlich muss auch dieses Verfahren einer wirtschaftlichen Betrachtung standhalten. Als Grenzkosten, unter denen eine betriebswirtschaftlich sinnvolle Aufbereitung gegeben wäre, können die in Szenario 1 bzw. 2 definierten Beträge herangezogen werden. Zur leichteren Vergleichbarkeit soll hier nur der erste Durchgang mit dem Shredder vermieden werden und somit dessen Kosten von 80 €/t bis 40 €/t als Maßlatte dienen. Diese Vorgabe impliziert aber gleichzeitig eine wesentliche Anforderung an die Voraufbereitung. Es muss zumindest eine übliche Shreddervormaterialqualität und somit ein 80%-iger Fe-Anteil erreicht werden.

Als Grundlage für die Auslegung einer solchen Anlage bietet sich wiederum eine für Österreich im Schnitt liegende MA-Anlage mit einer Kapazität von 50.000 t/a an. Bei 3%-igen Anteil an Metallen ergibt sich somit ein jährlicher Magnetschrottanfall von 1.500 t. Der Versuch lieferte die Erkenntnis über die zu erwartende Dichte und den Durchsatz des Brinis. Darauf aufbauend können die Betriebstunden abgeschätzt und gleichzeitig das Personal ermittelt werden. Der Versuch gibt ebenfalls Auskunft über die mögliche Verteilung des Magnetschrotts auf die einzelnen Fraktionen. Für den Kapitaldienst werden eine

Abschreibungsdauer von 10 Jahren und eine marktkonforme Verzinsung einkalkuliert, wobei die Investitionskosten bekannt sind. Mit all diesen Vorgaben und Abschätzungen können die Aufbereitungskosten für das Gesamtschema (vgl. Abbildung 36) berechnet und eine Bewertung durchgeführt werden.

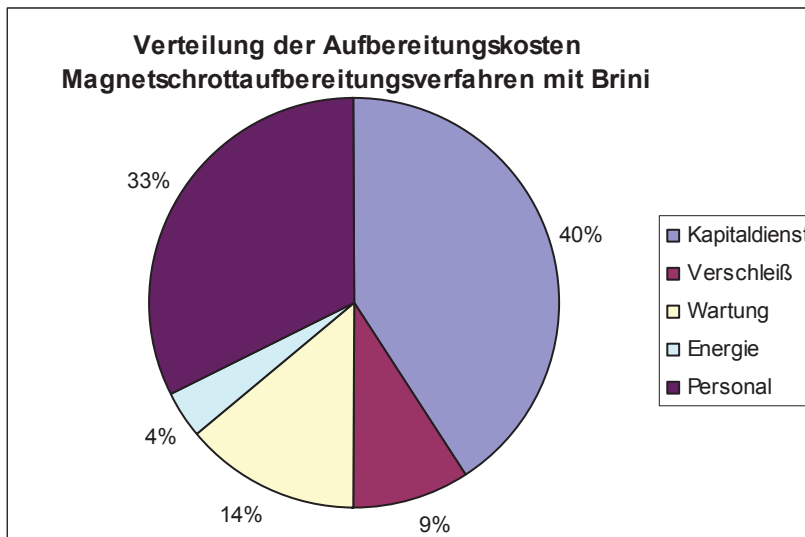


Abbildung 36: Aufbereitungskosten mit dem Brini

Wie oben dargestellt liegen die Aufbereitungskosten für Magnetschrott mittels Shreddertechnik im Bereich von 40-80 €/t für den ersten Durchgang. Durch die Notwendigkeit eines zweiten Durchganges erhöhen sich die Kosten dementsprechend bis auf das Doppelte. Da aber die Mengen an Magnetschrott, die an MA-Standorten anfallen, zu klein sind um direkt an ein Stahlwerk geliefert zu werden und das Erreichen der Schrottqualität der Sorte E40 noch nicht gesichert scheint, dienen nur die Kosten des ersten Durchganges als Vergleichswerte. Sollte sich aber herausstellen, dass sowohl die Qualität E40 generiert als auch ein Abnehmer für diese Fraktion gefunden werden kann, dann wird eine Aufbereitung von Magnetschrott mit dem Brini bei weit höheren Kosten ebenfalls lukrativ. Bis dahin, muss davon ausgegangen werden, dass immer noch ein zweiter Durchgang mit dem Shredder von Nöten sein wird und der aufbereitete Magnetschrott erst dann seinen Weg in ein Stahlwerk findet.

Die nächste Abbildung 37 stellt diesen Vergleich in Abhängigkeit von gewählten Durchsätzen pro Jahr dar. Dabei zeigt sich, dass das vom Versuch abgeleitete Verfahrensschema in seiner Gesamtheit ab einer Jahrestonnage von 1.000 t unter den 40 €/t liegt und somit den ersten Durchgang des Shredder betriebswirtschaftlich sinnvoll ersetzen könnte. Genau um diese 40 €/t kann der Shredderbetrieb seinen Einkaufspreis für den aufbereiteten Magnetschrott erhöhen. Dies versetzt den MA-Betreiber in die angenehme Lage, dass sich immer eine Aufbereitung unter den Kosten des Shredderbetreibers lohnt, da er die Spanne zwischen Mehrerlös minus Aufbereitungskosten verdient. Dieses Szenario gilt ebenfalls für die Marktsituation in der der Betreiber einer mechanischen Aufbereitungsanlage Zuzahlungen zu tätigen hat. Nicht zu vergessen ist die Berücksichtigung der Transportkosten

für den Schrott mit derzeit ungefähr 5 €/t (vgl. Kapitel 5.4.1), die in diesem Beispiel unberücksichtigt blieben.

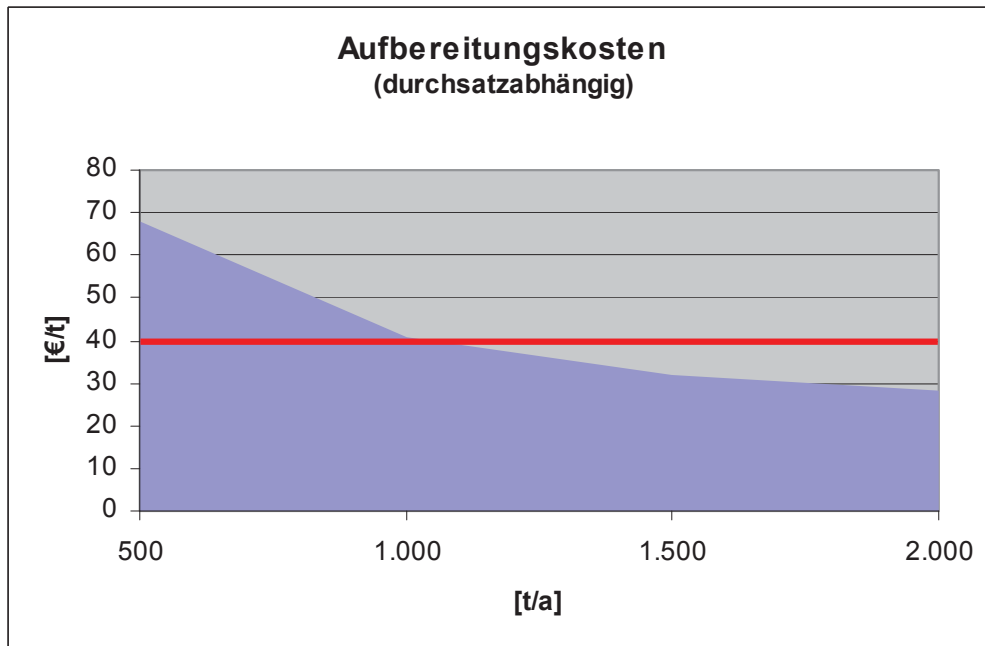


Abbildung 37: Aufbereitungskosten in Abhängigkeit vom Durchsatz

6 Diskussion

Die Thematik des Magnetschrottrecyclings birgt für die unterschiedlichsten Beteiligten – vom Gesetzgeber über den Aufbereiter bis hin zum Stahlwerk – noch einige Verbesserungsmöglichkeiten.

Am Beginn ist dabei sicherlich der Gesetzgeber von entscheidender Bedeutung. Neben dem Ausbau der Vermeidung würde es für die Verwertung hilfreich sein, die getrennte Sammlung dahingehend zu optimieren, dass kleine Metallteile nicht über den Siedlungsabfall entsorgt werden. Die Öffnung der blauen Tonne über die Metallverpackungen hinaus könnte sich dabei vielleicht als sehr hilfreich herausstellen. Jener Anteil an Metallen der dennoch im Siedlungsabfall verbleibt, wird weiterhin mittels Magnetscheidung aussortiert werden und somit die Fraktion Magnetschrott bilden. Der Gesetzgeber hat im Rahmen der Neufassung des Kapitels 5.3. des BAWP den Begriff „Magnetschrott“ zwar gebraucht, die Verwendung und der Bekanntheitsgrad des Begriffs in der Praxis halten sich dennoch in Grenzen. Das weitaus größere Problem stellte bisher aber die Zuordnung zu einer einheitlichen Schlüsselnummer dar. Die Einordnung reichte von Gewerbeabfall bis hin zu Eisen- und Stahlschrott verunreinigt. Es bleibt zu hoffen, dass der EAK mit dem Abfallcode 191202, der alle Eisenmetalle aus der mechanischen Behandlung von Abfällen vereinigt und die Definition von Qualitätskriterien zulässt, bessere Rechtssicherheit schaffen wird können. Dies wäre vor allem für die Abfallverbringung von Vorteil. Aufgrund seiner durchschnittlichen Verunreinigungen (> 8%) unterliegt Magnetschrott der Bewilligungs- und Notifizierungspflicht für die Abfallverbringung und müsste somit in den Statistiken aufscheinen. Die vorhin erwähnte Problematik der fehlenden Schlüsselnummer führt aber dazu, dass über die Aufzeichnungen der Abfallverbringung die Mengen an verbrachten Magnetschrott nicht quantifizierbar sind. Da die vorliegenden Mengen sehr stark darauf hindeuten, dass hier einige Tonnen Österreich ohne entsprechende Bewilligung verlassen bzw. verlassen haben, ist dem Gesetzgeber zu empfehlen seine Kontrolltätigkeiten auf diesem Gebiet zu intensivieren. Zusätzlich wäre es eine Überlegung wert, ob nicht die Definition einer Sorte „aufbereiteter Magnetschrott aus der mechanischen Abfallbehandlung“ innerhalb der Schrottsortenliste, mit ähnlichen Qualitätsvorgaben wie für den MVA-Schrott, für eine bessere Handhabbarkeit der Fraktion in der Praxis führen würde.

Für den MA-Betreiber stellt die Optimierung der Magnetabscheidung hinsichtlich reinerer Metallfraktion den ersten Hebel dar, bei dem er ansetzen kann. Natürlich müssen dabei die Vor- und Nachteile einer etwaigen EBS-Verunreinigung mit Metallen abgewogen werden. Dennoch ist eine Aufbereitung für Magnetschrott vor dem Einsatz im Stahlwerk in der derzeitigen technischen Ausgestaltung als unumgänglich anzusehen. Tatsache ist auch, dass aufgrund der Mengensituation nur eine Voraufbereitung (vor dem Shredder) als realistisch angesehen werden kann. Die Entwicklung eines Voraufbereitungsaggregats unterliegt dabei zwei Kategorien an Vorgaben.

Eine Kategorie ist die Festlegung von technischen Voraussetzungen, die eine etwaige Voraufbereitung erfüllen sollte. Dabei ist in erster Linie der zu erzielende Eisengehalt von Bedeutung. Die Forderung muss sich dabei an den definierten Gehalt des Shredderschrotts

(E40) mit seinen fast 100% Fe orientieren. Auch die weiteren in der europäischen Schrottsortenliste festgehaltenen Anforderungen an den Shredderschrott gelten als Maßstab für die technische Ausgestaltung einer Voraufbereitung. Das heißt, die Dichte der aufbereiteten Fraktion sollte mindesten $> 0,9 \text{ m}^3/\text{t}$ betragen und die Gehalte an Cu, Ni, Mo und Cr sind so gering wie möglich zu halten. Des weitern ist zu berücksichtigen, dass der Magnetschrott so trocken wie möglich abgegeben werden sollte.

Die zweite Kategorie bietet die Festlegung von betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen, um die Voraufbereitung sinnvoll einzusetzen. Als Vergleichsmöglichkeiten bieten sich grundsätzlich zwei Varianten an. Bei der ersten müssen die Verarbeitungskosten des Shredders für den ersten Durchgang bekannt sein und diese Kosten durch eine praktizierte Voraufbereitung unterschritten werden. Die zweite Variante führt über die in Kapitel 5.2 wiedergegebenen Formeln zum jeweiligen Einkaufspreis des Magnetschrotts durch den Shredderbetrieb. Durch eine Differenzbildung der zu berechnenden Werte vor und nach der Aufbereitung – in Abhängigkeit der Ausbringungserhöhung für den Shredder – bildet sich jene Schwelle heraus, die unterschritten werden muss. Dabei haben beide Varianten ihre Vor- und Nachteile. Im Vergleich zu den Verarbeitungskosten spielen Veränderungen am Schrottmarkt keine wesentliche Rolle, da diese größtenteils durch die fixen und variablen Betriebskosten gebildet werden. Demgegenüber berücksichtigen die Formeln in Kapitel 5.2 sehr wohl das Auf und Ab des Schrottpreises im Laufe der Zeit und geben daher auch darüber Aufschluss, ob die Aufbereitung bei geänderten Rahmenbedingungen Sinn macht.

Eine Zusammenfassung der Forderungen an die Voraufbereitung von Magnetschrott bietet die folgende Tabelle 21.

Tabelle 21: Forderungen an die Voraufbereitung

technische Vorgaben		betriebswirtschaftliche Vorgaben	
1.	Fe-Gehalt so hoch wie möglich	1.	geringer als Verarbeitungskosten mit dem Shredder (1. Durchgang) oder
2.	Dichte $> 0,9 \text{ m}^3/\text{t}$		
3.	geringste Gehalte von Cu, Ni, Mo und Cr	2.	geringer als die Differenz der Einkaufspreise des Shredders vor bzw. nach Aufbereitung
4.	trocken		

Nachdem die Voraussetzungen für die Ausgestaltung einer Voraufbereitung festgelegt sind, bleibt nur noch die Frage zu klären, ob derzeit eine Umsetzung sinnvoll wäre. Der erste Ansatzpunkt für die Firma Komptech, ein bestehendes Aggregat dafür zu verwenden, wurde im Rahmen dieser Arbeit mit dem Versuch der Aufbereitung mittels ballistischer Separation mit dem Brini getätigt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass es sehr wohl möglich ist, mit „kleinen Veränderungen“ und annehmbaren Kosten ein vorzeigbares Resultat zu liefern. Vor allem die bisher immer noch praktizierte alleinige optische Bewertung birgt hier Vorteile für die Firma Komptech. Dieser kann es im Prinzip auch egal sein, wer diesen Voraufbereitungsschritt durchführt. Sowohl der MA-Betreiber als auch der Shredderbetrieb sind dafür geeignet. Hierfür müssen aber weitere Versuche durchgeführt werden und die Betreiber der Anlagen dazu bereit sein, die entsprechenden Aggregate zu testen. Die besten Voraussetzungen dafür hätte der Shredderbetrieb, der durch entsprechende Ausbringungsversuche die Leistung der Voraufbereitung messbar machen könnte. Für

diesen liegt es sowieso im Eigeninteresse seine angenommenen Magnetschrotte einem Ausbringungsversuch zu unterziehen, um die fast unmögliche optische Bewertung zu umgehen.

Die zweite Option für die Firma Komptech ist die Entwicklung eines eigenen Aggregats für die Magnetschrottaufbereitung. Dabei bilden die Kapitalkosten, also die „Größe“ des Aggregats, den Knackpunkt für die betriebswirtschaftlichen Entscheidungen der Kunden. Die sich am Markt befindlichen Gesamtlösungen werden in der derzeitigen Situation wohl nicht die gewünschten finanziellen Ergebnisse erzielen. Die Firma Komptech sollte sich in der Anfangsphase deshalb an jene Partner wenden, die einen hohen Jahresdurchsatz an Magnetschrott aufweisen können, um davon ausgehend ihr Produkt für kleinere mechanische Abfallbehandlungsanlagen zu modifizieren. Dies gilt übrigens auch für die Option mit dem Brini und der vorgeschlagenen Ausgestaltung des Verfahrens in Kapitel 5.5.2. Für beide Optionen wäre es vorstellbar über eine mobile Lösung den erforderlichen Jahresdurchsatz nicht nur zu erreichen, sondern weitgehend zu überschreiten und somit den vorhin erwähnten Knackpunkt zu umgehen.

Die allgemeine Ressourcenverfügbarkeit spricht generell dafür, dass die Metalle in absehbarer Zeit wieder an Wert gewinnen werden. Nur wann und in wie weit die Metallpreise wieder anziehen, das kann aus heutiger Sicht schwer beurteilt werden. Das heißt, die Möglichkeit für MA-Betreiber ihren Magnetschrott zu horten und auf bessere Preise zu hoffen, ist dem überlassen, der zu spekulativen Tendenzen neigt. Die Voraufbereitung jedenfalls, welche die vorhin erwähnten Bedingungen erfüllt, ist für den MA-Betreiber immer von Vorteil. In Zeiten in denen er Zuzahlungen tätigen muss, kann er diese vermindern oder sogar ins positive wenden und in Zeiten in denen er Erlöse erzielt, kann er diese steigern. Diese Überlegungen unterliegen zwangsläufig der Prämisse, dass durch die Voraufbereitung geringere Kosten entstehen als z.B. Zuzahlungen getätigt werden müssen und die Spanne somit verdient wird.

Es ist verständlich, dass österreichische Stahlwerke durch ihre Spezialisierung und der vom Kunden erwarteten Qualität der Produkte mit dem Einsatz von aufbereitetem Magnetschrott ihre Probleme haben. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass vor allem in ausländischen Stahlwerken, die Betonstahl produzieren, der österreichische Magnetschrott seine Verwendung findet. Um diese Mengen in Österreich halten zu können, ist es dringend erforderlich, die Magnetschrottaufbereitung zur Zufriedenheit aller Beteiligten zu gestalten.

7 Zusammenfassung

Die Hausse an den Rohstoffmärkten in den letzten Jahren hat unter anderem dazu geführt, dass das Interesse der Beteiligten am Recyclingprozess für Metalle auch für sehr verunreinigte Metallfraktionen stieg. Unter diese Kategorie ist auch der so genannte Magnetschrott zu reihen. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es den derzeitigen Verwertungsweg für diese Fraktion nachzuzeichnen und die Grundlagen einer sinnvollen Veränderung der Aufbereitung zu bestimmen.

Die gewählte Fraktionsbezeichnung „Magnetschrott“ ist generell nicht etabliert und so wird in der Praxis mit den unterschiedlichsten Bezeichnungen gearbeitet. Daher war es zu allererst wichtig eine entsprechende Definition zu generieren. Diese bezeichnet als Magnetschrott jene Fraktion, die die Summe der aus Siedlungsabfällen mittels Magnetabscheidung gewonnenen ferromagnetischen Anteile wieder spiegelt.

Neben dem Begriff scheinen auch die Mengen an Magnetschrott, die anfallen, aufbereitet und verwertet werden, nicht bekannt zu sein. Dies rührt vermutlich daher, dass eine einheitliche Zuordnung zu einer entsprechenden Schlüsselnummer „Magnetschrott“ aufgrund deren Nichtexistenz nicht gegeben ist. Dieser Umstand erzeugt in der Praxis vermehrt massive Probleme und lässt den Ruf nach einheitlichen Qualitätskriterien, wie z.B. für MVA-Schrott, und die Klärung der Frage der Zuordnung immer lauter werden. Eine Abschätzung über den Gehalt von Metallen in einem durchschnittlich zusammengesetzten Siedlungsabfall liefert die mengenmäßige Einordnung. Bei vorsichtiger Schätzung ist daher davon auszugehen, dass sich am österreichischen Markt im Jahr 2004 ca. 60.000 t Magnetschrott aus der mechanischen Aufbereitung befunden haben müssen. Die Wirkung des Behandlungsgebots wird sein übriges getan haben, um die Menge nach oben zu schrauben. Dennoch handelt es sich dabei im Vergleich zum übrigen Schrottmarkt um ein sehr geringes Ausmaß.

Auch über die durchschnittliche Zusammensetzung und Gehalte an Eisen ist bisher wenig bekannt. In der Praxis hört man vermehrt, dass ein Mindestprozentsatz von 60% Fe für die Abwicklung von Geschäften üblich ist. Aber auch vorherige Ausbringungsversuche werden getätigt und dementsprechend über den Erlös verhandelt. Mit Sicherheit kann gesagt werden, dass die Qualitäten von Magnetschrott zum größten Teil mit der Qualität der mechanischen Aufbereitung einhergehen und somit je nach Anlagentyp großen Schwankungsbreiten (40-80%) unterliegen.

Magnetschrott ist ein so genannter Problemschrott und wird daher in Österreich mittels Shreddertechnik aufbereitet. Die Marktsituation der letzten Jahre hat aber vermehrt dazu geführt, dass – obwohl Magnetschrott meistens einer Bewilligungs- und Notifizierungspflicht für die Abfallverbringung unterliegt – wesentliche Mengen ihren Weg ins Ausland gefunden haben. Diese Vermutung legt also nahe, dass es in der näheren Umgebung eine günstigere Entsorgungs- bzw. Verwertungsmöglichkeit für Magnetschrott gibt, als die gängige in Österreich. Darauf deuten auch die massiven Anstrengungen einiger Firmen hin, eigene Gesamtlösungen für die Aufbereitung von u. a. Magnetschrott zu entwickeln und zu realisieren. Dabei bleibt aus heutiger Sicht zu bemerken, dass sich solche Investitionen mit

an ziemlicher Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit derzeit betriebswirtschaftlich nicht rentieren.

Unumstritten bleibt, dass Magnetschrott einer Aufbereitung bedarf und die entsprechenden Mengen für ein Stahlwerk in Österreich nur ein Shredderbetrieb liefern kann. Sollte also ein MA-Betreiber daran interessiert sein, seinen Magnetschrott selbst aufzubereiten, bleibt ihm die Möglichkeit den ersten Durchgang des Shredders durch eine u. U. kostengünstigere Variante zu ersetzen und die Spanne zu verdienen. Die als Voraufbereitung bezeichnete Variante unterliegt dabei sowohl technischen als auch betriebswirtschaftlichen Forderungen, die im Rahmen der Arbeitserstellung definiert wurden und somit einen sinnvollen Einsatz ermöglichen.

Da die vorliegende Arbeit so etwas wie eine Zustandserhebung über die Situation der Magnetschrottverwertung in Österreich darstellt und dazu im Grunde keine andere Literatur vorhanden ist, wurden im Kapitel Diskussion für alle Beteiligten – vom Gesetzgeber bis hin zum Shredderbetreiber - Vorschläge erarbeitet, die die praktische Handhabung der Fraktion entscheidend erleichtern soll. Am Schluss bleibt zu bemerken, dass sich im Laufe der Arbeitserstellung das Gesamtbild aufgrund der wirtschaftlichen Gegebenheiten grundlegend geändert hat, aber bei der Erholung der Märkte die Magnetschrotthematik sicherlich wieder an Aufmerksamkeit gewinnen wird.

8 Verzeichnisse

8.1 Literatur

- [1] RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.
- [2] Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.): Mechanische Abfallbehandlung (MA) in Österreich – Anlagenstandorte 2007. REP-0160. Wien: UBA, 2008. – ISBN 3-85457-958-6
- [3] Norm ÖNORM S 2100: 2005. Abfallverzeichnis.
- [4] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Bildband zu Kapitel 5.3 des Bundesabfallwirtschaftsplanes (EG-AbfallverbringungsVO Nr. 1013/2006. Wien: BMLFUW, 2007.
- [5] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. Wien: BMLFUW, 2006. – ISBN 3-902 010-70-3
- [6] Norm ÖNORM S 2080-3: 2005. Qualitätsanforderungen an Sekundärrohstoffe Teil 3: Eisenschrott.
- [7] Schadlosigkeit als Voraussetzung für das Abfallende – Die Aussagen des BverwG zu Produktqualität und Ende der Abfalleigenschaft werfen mehr Fragen auf als sie Antworten geben. In: Rhombos Verlag GmbH (Hrsg.): Müllmagazin Heft 2. Berlin: Rhombos, 2007, S. 37-43.
- [8] Gotthelf, Hans: Möglichkeiten des wirtschaftlichen Einsatzes von Müllschrott bei der Stahlerzeugung. Berlin: TU Berlin, Doktorarbeit, 1984.
- [9] BGBl. II 2003/570. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung).
- [10] Hribernik, Petra: Gewerbeabfall Recycling – Stand der Technik und Entwicklungspotentiale. Kapfenberg: FH Joanneum, Diplomarbeit, 2007.
- [11] Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft Abteilung Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement (Hrsg.): Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll (SEMBA). Wien: TU Wien, 2006.

- [12] Prochaska, Michael; Raber, Georg; Lorber, Karl E.: Projekt-Endbericht Herstellung von Ersatzbrennstoffen. Leoben: Montanuniversität Leoben, Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, 2005.
- [13] Schubert, Heinrich (Hrsg.): Handbuch der mechanischen Verfahrenstechnik. Weinheim: Wiley-Vch, 2003. – ISBN 3-527-30577-7
- [14] Nickel, Werner (Hrsg.): Recycling-Handbuch: Strategien – Technologie – Produkte. Düsseldorf: VDI, 1996. – ISBN 3-18-401386-3
- [15] Ketelsen, Ketel: Potentiale und Perspektiven der MBA-Technologie – Sachstand und Ausblick. Vortrag anlässlich des 10 Jahre Jubiläums der ASA in Potsdam.
- [16] Antrekowitsch, Helmut: Vorlesung Metallrecycling. Leoben: Montanuniversität Leoben, Arbeitsbereich Nichteisenmetallurgie, 2007.
- [17] Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V. (Hrsg.): Fachbuch Stahlrecycling – Vom Rohstoff Schrott zum Stahl. München-Gräfelfing: ADV, 1998. – ISBN 3-8040-0429-6
- [18] Schubert, Gert: Aufbereitung metallischer Sekundärrohstoffe. Leipzig. VEB, 1983. – ISBN 3-211-95823-1
- [19] Löschau, Margit: Input-Output-Analyse als Methode zur stofflichen Bilanzierung komplexer Entsorgungssysteme. Berlin: TU Berlin, Doktorarbeit, 2006.
- [20] Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.): Ist-Stand der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich – Zustandsbericht 2006. REP-0071. Wien: UBA, 2006. – ISBN 3-85457-868-7
- [21] Thomé-Kozmiensky, Karl J.; Thiel, Stephanie: Erreichtes und Optimierungsbedarf – Die Mechanisch (-biologisch)e Abfallbehandlung hat ihre prinzipielle Funktionsfähigkeit nachgewiesen. In: Rhombos Verlag (Hrsg.): Müllmagazin Heft 1, Berlin: Rhombos, 2008, S. 4-12.
- [22] Fellner, Johann: Deponietechnik Vorlesung SS 2007. Wien: Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, 2007.
- [23] URL: <http://www.probas.umweltbundesamt.de> Link: Auswahl nach Themen – Eisen und Stahl (Stand: 30.03.2009)
- [24] URL: <http://www.metsopaper.com> Link: 1212_Shredders_DE.pdf (Stand: 30.03.2009)
- [25] Mündliche Auskunft DI Marco Ortner, 26.08.2008.
- [26] Mündliche Auskunft DI Anton V. Kuehberger, 30.10.2008.

- [27] URL: <http://www.umweltruf.de> Link: News (Stand: 20.02.2009)
- [28] Saubere Trennung von Müllschrott. In: Mewa Recycling Maschinen und Anlagen GmbH (Hrsg.): News – Newsletter für Kunden und Mitarbeiter April 2008. Gechingen: Druckhaus Weber 2008, S. 6.
- [29] URL: <http://www.mewa-recycling.de> Link: Maschinen – Querstromzerspaner (Stand: 30.03.2009)
- [30] Umweltbundesamt GmbH (Hrsg.): Behandlung von Reststoffen und Abfällen in der Eisen- und Stahlindustrie. M-092. Wien: UBA, 1998. – ISBN 3-85457-394-4
- [31] Mündliche Auskunft DI Harald Flössholzer, 09.10.2008.
- [32] Mündliche Auskunft Ing. Otto Ranftl, 29.10.2008.
- [33] Wiessler, Thomas: Analyse der Schrottmarktentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Preisbildung. Leoben: Montanuniversität Leoben, Diplomarbeit, 1996.
- [34] Münster Hans P. (Hrsg): Taschenbuch des Metallhandels. Isernhagen: Giesel Verlag, 2002. – ISBN 3-87852-013-1
- [35] URL: <http://www.eurofer.org> Link: Facts & Figures – Scrap price index (Stand: 30.03.2009)
- [36] URL: <http://www.schrott.de> Link: Schrottpreis (Stand: Abfragen von Juni 2008 bis März 2009 für Mischschrott/Schreddervormaterial)
- [37] Farzaneh, Sabery: Model zur Vorkalkulation von mechansich-biologischen Restabfallbehandlungsanlagen zur Herstellung von Ersatzbrennstoffen. Berlin: Technische Universität Berlin, Doktorarbeit, 2004.
- [38] URL: <http://www.komptech.com> Link: Produkte (Stand: 30.03.2009)

8.2 Abkürzungsverzeichnis

<	kleiner
>	größer
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich
~	ungefähr
∑	Summe
€	Euro
%	Prozent

°	Grad
a	Jahr
Al	Aluminium
ARRL	Abfallrahmenrichtlinie
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
BAWP	Bundesabfallwirtschaftsplan
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	cirka
Cd	Cadmium
CO ₂	Kohlendioxid
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
E40	Shredderschrott
EAF	Elektrolichtbogenofen
EAK	Europäischer Abfallkatalog
EBS	Ersatzbrennstoff
EG	Europäische Gemeinschaft
EU	Europäische Union
etc.	et cetera
Fe	Eisen
g	Gramm
h	Stunde
Hg	Quecksilber
kg	Kilogramm
km	Kilometer
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MA	Mechanische Aufbereitung
Massen-%	Massenprozent
MBA	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
Mn	Mangan
MVA	Müllverbrennungsanlage
NE	Nichteisenmetall
Ni	Nickel
P	Phosphor
PS	Pferdestärke
QSZ	Querstromzerspaner

S	Schwefel
S.	Seite
Si	Silizium
SLF	Shredderleichtfraktion
Sn	Zinn
SSF	Shredderschwerfraktion
t	Tonne
TS	Trockensubstanz
u.a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

8.3 Tabellen

Tabelle 1: Sortierkatalog für Analyse von Magnetschrott.....	8
Tabelle 2: Vergleich der Eisengehalte in g/kg Trockensubstanz (TS).....	8
Tabelle 3: Magnetschrottanalyse.....	9
Tabelle 4: Gegenüberstellung der Anforderungen der Stahlindustrie mit durchschnittlichen Magnetschrottzusammensetzungen.....	10
Tabelle 5: Magnetische Eigenschaften von Metallen und Legierungen.....	10
Tabelle 6: Altschrottaufkommen.....	14
Tabelle 7: Gesamtmagnetschrottanfall für Österreich 2004.....	14
Tabelle 8: Kapazitäten zur MBA von Restmüll.....	15
Tabelle 9: Schrottverteilung nach Verwertungswegen.....	17
Tabelle 10: Shredder.....	20
Tabelle 11: Probleme der Magnetschrottaufbereitung mit dem Shredder.....	24
Tabelle 12: Auszug aus der Schrottsortenliste.....	27
Tabelle 13: Angestrebte Analysenwerte für Schrottsorten.....	28
Tabelle 14: Abtrennbarkeit von Metallen.....	28
Tabelle 15: Zusammenhang chemische Zusammensetzung Stähle und Schrott.....	29
Tabelle 16: Annahmen für Magnetschrottpreisberechnung.....	38
Tabelle 17: Annahmen zur Vorkalkulation Szenario 1.....	43
Tabelle 18: Rentabilitätsberechnungsbeispiel für 1.000 t/a Anlageninput (Juni 2008).....	45
Tabelle 19: Annahmen zur Vorkalkulation Szenario 2.....	47

Tabelle 20: Fraktionen der ballistischen Separation	52
Tabelle 21: Forderungen an die Voraufbereitung.....	60

8.4 Abbildungen

Abbildung 1: Typische Magnetschrottfraktion	7
Abbildung 2: Trennmodell für Überbandmagneten	11
Abbildung 3: Anordnung von Überbandmagneten	12
Abbildung 4: Optimierungsansatz Metallabscheidung	13
Abbildung 5: Güterfluss einer MBA bzw. MA	16
Abbildung 6: Müllverbrennungsschrott.....	17
Abbildung 7: Recyclingverfahren von Magnetschrott (derzeit)	18
Abbildung 8: Shredderschrott (E40).....	20
Abbildung 9: Autoshreder	21
Abbildung 10: Magnetschrott nach dem 2. Durchgang mittels Zerdinator.....	21
Abbildung 11: Zerdinator	22
Abbildung 12: Kondirator	22
Abbildung 13: Schematischer Aufbau einer Shredderanlage.....	23
Abbildung 14: Hammerbrecher mit vertikal angeordnetem Rotor.....	25
Abbildung 15: Querstromzerspaner	26
Abbildung 16: Einsatzrechnungsbeispiel für Konverter.....	30
Abbildung 17: Europäischer Preisindex für Shredderschrott.....	32
Abbildung 18: Vergleich Shredderschrottpreis (E40) zu Shreddervormaterialpreis.....	33
Abbildung 19: Magnetschrottverwertung mit Voraufbereitung.....	34
Abbildung 20: Kostenschema des Voraufbereitungsaggregats.....	35
Abbildung 21: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (zwei Durchgänge, Juni 2008)	39
Abbildung 22: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (zwei Durchgänge, Dezember 2008).....	39
Abbildung 23: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (ein Durchgang, Juni 2008)	40
Abbildung 24: Berechneter Einkaufspreis von Magnetschrott für Shredderbetriebe (ein Durchgang, Dezember 2008).....	40
Abbildung 25: Visualisierung Szenario 1	41

Abbildung 26: Aufbereitungskosten (1.000 t/a, Juni 2008).....	44
Abbildung 27: Rentabilität der Magnetschrottaufbereitung (Szenario 1 – Juni 2008)	45
Abbildung 28: Visualisierung Szenario 2	46
Abbildung 29: Aufbereitungskostenverteilung	48
Abbildung 30: Aufbereitungskosten Szenario 2 mit Einfluss der Abfallentsorgung.....	49
Abbildung 31: Aufbereitungskosten gegenüber definierten Schwellenwerten.....	51
Abbildung 32: Ballistischer Separator	53
Abbildung 33: Verfahrensschema Brini MK	53
Abbildung 34: Inputmaterial.....	54
Abbildung 35: Outputfraktionen	54
Abbildung 36: Vergleich Sortierung Input zu Output	55
Abbildung 37: Verfahrensbild Magnetschrottaufbereitung mit Brini.....	56
Abbildung 38: Aufbereitungskosten mit dem Brini.....	57
Abbildung 39: Aufbereitungskosten in Abhängigkeit vom Durchsatz.....	58

Anhang

Anlegbarer Preis für Magnetschrott als Shreddervormaterial bei zwei Durchgängen (Juni 2008)

Tabelle 1: Selbstkosten für 1 t Shreddervormaterial (Altfahrzeuge, Haushaltsschrott, usw.)

Erzeugung [t/a]	82.818
Ausbringen (Fe)	80%
Leistung [t/h]	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40
Entsorgungskosten [€/t]	20
Wertstoffwert [€/t]	312,5
Selbstkosten [€/t]	372,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	250

Tabelle 2: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 15 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	15	15	15	15	15	15
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	80	80	80	80	80	80
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	170	160	150	140	135	130
Wertstoffwert [€/t]	202,5	212,5	222,5	232,5	237,5	242,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	81	106,25	133,5	162,75	178,13	194

Tabelle 3: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 20 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	20	20	20	20	20	20
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	60	60	60	60	60	60
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	150	140	130	120	115	110
Wertstoffwert [€/t]	222,5	232,5	242,5	252,5	257,5	262,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	89	116,25	145,5	176,75	193,13	210

Tabelle 4: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 25 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	25	25	25	25	25	25
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	48	48	48	48	48	48
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	138	128	118	108	103	98
Wertstoffwert [€/t]	234,5	244,5	254,5	264,5	269,5	274,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	93,8	122,25	152,7	185,15	202,13	219,6

Tabelle 5: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 30 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	30	30	30	30	30	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40	40	40	40	40	40
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	130	120	110	100	95	90
Wertstoffwert [€/t]	242,5	252,5	262,5	272,5	277,5	282,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	97	126,25	157,5	190,75	208,13	226

Anlegbarer Preis für Magnetschrott als Shreddervormaterial bei zwei Durchgängen (Dezember 2008)

Tabelle 6: Selbstkosten für 1 t Shreddervormaterial (Altfahrzeuge, Haushaltsschrott, usw.)

Erzeugung [t/a]	82.818
Ausbringen (Fe)	80%
Leistung [t/h]	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40
Entsorgungskosten [€/t]	20
Wertstoffwert [€/t]	87,5
Selbstkosten [€/t]	147,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	70

Tabelle 7: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 15 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	15	15	15	15	15	15
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	80	80	80	80	80	80
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	170	160	150	140	135	130
Wertstoffwert [€/t]	-22,5	-12,5	-2,5	7,5	12,5	17,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	-9	-6,25	-1,5	5,75	9,375	14

Tabelle 8: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 20 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	20	20	20	20	20	20
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	60	60	60	60	60	60
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	150	140	130	120	115	110
Wertstoffwert [€/t]	-2,5	7,5	17,5	27,5	32,5	37,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	-1	3,75	10,5	19,25	24,375	30

Tabelle 9: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 25 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	25	25	25	25	25	25
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	48	48	48	48	48	48
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	138	128	118	108	103	98
Wertstoffwert [€/t]	9,5	19,5	29,5	39,5	44,5	49,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	3,8	9,75	17,7	27,65	33,375	39,6

Tabelle 10: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 30 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	30	30	30	30	30	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40	40	40	40	40	40
Verarbeitungskosten 2. Durchgang [€/t]	30	30	30	30	30	30
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	130	120	110	100	95	90
Wertstoffwert [€/t]	17,5	27,5	37,5	47,5	52,5	57,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	7	13,75	22,5	33,25	39,375	46

Anlegbarer Preis für Magnetschrott als Shreddervormaterial bei einem Durchgang (Juni 2008)

Tabelle 11: Selbstkosten für 1 t Shreddervormaterial (Altfahrzeuge, Haushaltsschrott, usw.)

Erzeugung [t/a]	82.818
Ausbringen (Fe)	80%
Leistung [t/h]	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40
Entsorgungskosten [€/t]	20
Wertstoffwert [€/t]	312,5
Selbstkosten [€/t]	372,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	250

Tabelle 12: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 15 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	15	15	15	15	15	15
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	80	80	80	80	80	80
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	140	130	120	110	105	100
Wertstoffwert [€/t]	232,5	242,5	252,5	262,5	267,5	272,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	93	121,25	151,5	183,75	200,63	218

Tabelle 13: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 20 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	20	20	20	20	20	20
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	60	60	60	60	60	60
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	120	110	100	90	85	80
Wertstoffwert [€/t]	252,5	262,5	272,5	282,5	287,5	292,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	101	131,25	163,5	197,75	215,63	234

Tabelle 14: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 25 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	25	25	25	25	25	25
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	48	48	48	48	48	48
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	108	98	88	78	73	68
Wertstoffwert [€/t]	264,5	274,5	284,5	294,5	299,5	304,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	105,8	137,25	170,7	206,15	224,63	243,6

Tabelle 15: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 30 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	30	30	30	30	30	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40	40	40	40	40	40
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	100	90	80	70	65	60
Wertstoffwert [€/t]	272,5	282,5	292,5	302,5	307,5	312,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	109	141,25	175,5	211,75	230,63	250

Anlegbarer Preis für Magnetschrott als Shreddervormaterial bei einem Durchgang (Dezember 2008)

Tabelle 16: Selbstkosten für 1 t Shreddervormaterial (Altfahrzeuge, Haushaltsschrott, usw.)

Erzeugung [t/a]	82.818
Ausbringen (Fe)	80%
Leistung [t/h]	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40
Entsorgungskosten [€/t]	20
Wertstoffwert [€/t]	87,5
Selbstkosten [€/t]	147,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	70

Tabelle 17: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 15 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	15	15	15	15	15	15
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	80	80	80	80	80	80
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	140	130	120	110	105	100
Wertstoffwert [€/t]	7,5	17,5	27,5	37,5	42,5	47,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	3	8,75	16,5	26,25	31,875	38

Tabelle18: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 20 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	20	20	20	20	20	20
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	60	60	60	60	60	60
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	120	110	100	90	85	80
Wertstoffwert [€/t]	27,5	37,5	47,5	57,5	62,5	67,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	11	18,75	28,5	40,25	46,875	54

Tabelle 19: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 25 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	25	25	25	25	25	25
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	48	48	48	48	48	48
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	108	98	88	78	73	68
Wertstoffwert [€/t]	39,5	49,5	59,5	69,5	74,5	79,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	15,8	24,75	35,7	48,65	55,875	63,6

Tabelle 20: Anlegbarer Preis für 1 t Magnetschrott bei 30 t/h

Erzeugung [t/a]	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
Ausbringen (Fe) [%]	40	50	60	70	75	80
Leistung [t/h]	30	30	30	30	30	30
Verarbeitungskosten 1. Durchgang [€/t]	40	40	40	40	40	40
Entsorgungskosten [€/t]	60	50	40	30	25	20
Gesamtverarbeitungskosten	100	90	80	70	65	60
Wertstoffwert [€/t]	47,5	57,5	67,5	77,5	82,5	87,5
anlegbarer Vormaterialpreis [€/t]	19	28,75	40,5	54,25	61,875	70

Vorkalkulation Szenario 1 (Juni 2008)

Tabelle 21: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 500 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	176,40	220,50	264,60	308,70	352,80	396,90
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	53,15					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	1,59					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,95	2,46	1,97	1,47	0,98	0,49
Transport - Schrott	1,97	2,46	2,95	3,44	3,93	4,42
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	81	106,25	133,5	162,76	194	227,25
Gewinn/Verlust	-62,45	-28,60	3,25	33,09	60,95	86,80

Tabelle 22: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.000 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	176,40	220,50	264,60	308,70	352,80	396,90
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	26,57					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	0,80					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,95	2,46	1,97	1,47	0,98	0,49
Transport - Schrott	1,97	2,46	2,95	3,44	3,93	4,42
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	81	106,25	133,5	162,76	194	227,25
Gewinn/Verlust	-35,08	-1,23	30,62	60,46	88,32	114,17

Tabelle 23: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.500 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	176,40	220,50	264,60	308,70	352,80	396,90
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	17,72					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	0,53					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,95	2,46	1,97	1,47	0,98	0,49
Transport - Schrott	1,97	2,46	2,95	3,44	3,93	4,42
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	81	106,25	133,5	162,76	194	227,25
Gewinn/Verlust	-25,96	7,89	39,74	69,58	97,44	123,29

Tabelle 24: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 2.000 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	176,40	220,50	264,60	308,70	352,80	396,90
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	13,29					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	0,40					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,95	2,46	1,97	1,47	0,98	0,49
Transport - Schrott	1,97	2,46	2,95	3,44	3,93	4,42
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	81	106,25	133,5	162,76	194	227,25
Gewinn/Verlust	-21,40	12,45	44,30	74,14	102,00	127,85

Vorkalkulation Szenario 1 (Dezember 2008)

Tabelle 25: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 500 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	83,60	104,50	125,40	146,30	167,2	188,10
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	50,77					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	1,52					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,00	1,66	1,33	1,00	0,67	0,33
Transport - Schrott	1,33	1,66	2,00	2,33	2,66	2,99
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	-9	-6,25	-1,5	5,25	14	24,75
Gewinn/Verlust	-61,22	-28,07	3,08	32,23	59,38	84,53

Tabelle 26: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.000 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	83,60	104,50	125,40	146,30	167,2	188,10
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	25,39					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	0,76					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,00	1,66	1,33	1,00	0,67	0,33
Transport - Schrott	1,33	1,66	2,00	2,33	2,66	2,99
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	-9	-6,25	-1,5	5,25	14	24,75
Gewinn/Verlust	-35,07	-1,92	29,23	58,38	85,53	110,68

Tabelle 27: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.500 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	83,60	104,50	125,40	146,30	167,2	188,10
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	17,72					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	0,53					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,00	1,66	1,33	1,00	0,67	0,33
Transport - Schrott	1,33	1,66	2,00	2,33	2,66	2,99
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	-9	-6,25	-1,5	5,25	14	24,75
Gewinn/Verlust	-26,35	6,80	37,95	67,10	94,25	119,40

Tabelle 28: Gegenüberstellung Erlös/Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 2.000 t/a

Aufbereitungskosten [€/t]:	Metallgehalt					
	40%	50%	60%	70%	80%	90%
Erlös	83,60	104,50	125,40	146,30	167,2	188,10
Indirekte Betriebskosten						
Kapital	13,29					
Direkte Betriebskosten						
Wartung/Verschleiß	0,40					
Personal	2,92					
Energie	5,28					
Transport - Müll	2,00	1,66	1,33	1,00	0,67	0,33
Transport - Schrott	1,33	1,66	2,00	2,33	2,66	2,99
Abfallentsorgung	90,00	75,00	60,00	45,00	30,00	15,00
G/V Schrott unaufbereitet	-9	-6,25	-1,5	5,25	14	24,75
Gewinn/Verlust	-22,00	11,15	42,30	71,45	98,60	123,75

Vorkalkulation Szenario 2 (Juni 2008)

Tabelle 29: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 500 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%	90	75	60	45	30	15
Fe [t]	210	225	240	255	270	285	90	75	60	45	30	15
Abfall [t]	60	50	40	30	20	10	140	150	160	170	180	190
Summe [t]	270	275	280	285	290	295	230	225	220	215	210	205
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	46,33											
Wartung/Verschleiß	1,39											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							2,26	2,21	2,16	2,11	2,06	2,01
Transport - Schrott	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	106,83	105,83	104,83	103,83	102,83	101,83						

Tabelle 30: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.000 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%	180	150	120	90	60	30
Fe [t]	420	450	480	510	540	570	180	150	120	90	60	30
Abfall [t]	120	100	80	60	40	20	280	300	320	340	360	380
Summe [t]	540	550	560	570	580	590	460	450	440	430	420	410
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	23,17											
Wartung/Verschleiß	0,69											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							2,26	2,21	2,16	2,11	2,06	2,01
Transport - Schrott	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	82,97	81,97	80,97	79,97	78,97	77,97						

Tabelle 31: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.500 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%						
Fe [t]	630	675	720	765	810	855	270	225	180	135	90	45
Abfall [t]	180	150	120	90	60	30	420	450	480	510	540	570
Summe [t]	810	825	840	855	870	885	690	675	660	645	630	615
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	15,44											
Wartung/Verschleiß	0,46											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							2,26	2,21	2,16	2,11	2,06	2,01
Transport - Schrott	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	75,02	74,02	73,02	72,02	71,02	70,02						

Tabelle 32: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 2.000 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%						
Fe [t]	840	900	960	1020	1080	1140	360	300	240	180	120	60
Abfall [t]	240	200	160	120	80	40	560	600	640	680	720	760
Summe [t]	1080	1100	1120	1140	1160	1180	920	900	880	860	840	820
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	11,58											
Wartung/Verschleiß	0,35											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							2,26	2,21	2,16	2,11	2,06	2,01
Transport - Schrott	2,65	2,70	2,75	2,80	2,85	2,90						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	71,04	70,04	69,04	68,04	67,04	66,04						

Vorkalkulation Szenario 2 (Dezember 2008)

Tabelle 33: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 500 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%	90	75	60	45	30	15
Fe [t]	210	225	240	255	270	285	90	75	60	45	30	15
Abfall [t]	60	50	40	30	20	10	140	150	160	170	180	190
Summe [t]	270	275	280	285	290	295	230	225	220	215	210	205
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	45,23											
Wartung/Verschleiß	1,36											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,36
Transport - Schrott	1,80	1,83	1,86	1,90	1,93	1,96						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	104,10	103,10	102,10	101,10	100,10	99,10						

Tabelle 34: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.000 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%	180	150	120	90	60	30
Fe [t]	420	450	480	510	540	570	180	150	120	90	60	30
Abfall [t]	120	100	80	60	40	20	280	300	320	340	360	380
Summe [t]	540	550	560	570	580	590	460	450	440	430	420	410
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	22,61											
Wartung/Verschleiß	0,68											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,36
Transport - Schrott	1,80	1,83	1,86	1,90	1,93	1,96						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	80,81	79,81	78,81	77,81	76,81	75,81						

Tabelle 35: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 1.500 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%						
Fe [t]	630	675	720	765	810	855	270	225	180	135	90	45
Abfall [t]	180	150	120	90	60	30	420	450	480	510	540	570
Summe [t]	810	825	840	855	870	885	690	675	660	645	630	615
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	15,08											
Wartung/Verschleiß	0,45											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,36
Transport - Schrott	1,80	1,83	1,86	1,90	1,93	1,96						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	73,05	72,05	71,05	70,05	69,05	68,05						

Tabelle 36: Aufbereitungskosten für 1 t Magnetschrott bei 2.000 t/a

	Metallgehalt Magnetschrott						Abfallfraktion					
	70%	75%	80%	85%	90%	95%						
Fe [t]	840	900	960	1020	1080	1140	360	300	240	180	120	60
Abfall [t]	240	200	160	120	80	40	560	600	640	680	720	760
Summe [t]	1080	1100	1120	1140	1160	1180	920	900	880	860	840	820
Betriebskosten [€/t]												
Kapital	11,31											
Wartung/Verschleiß	0,34											
Personal	2,92											
Energie	5,28											
Transport - Müll							1,53	1,50	1,46	1,43	1,40	1,36
Transport - Schrott	1,80	1,83	1,86	1,90	1,93	1,96						
Abfallentsorgung							46	45	44	43	42	41
Aufbereitungs- kosten [€/t]	58,61	57,61	56,61	55,61	54,61	53,61						