

Masterarbeit

Bilanzierung einer Elektroaltgeräte- (EAG) Aufbereitungsanlage mittels Stoffstromanalyse

erstellt für

Saubermacher DienstleistungsAG
am Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik

Vorgelegt von:
Sonja Lukas, BSc
0535225

Betreuer:
DI Gernot Kreindl
O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber
DI Alexander Curtis

Leoben, 15.5.2012

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

AFFIDAVIT

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

DANKSAGUNG

Ich möchte allen Mitarbeitern der EAG-Behandlungsanlage Unterpremstätten danken, deren üblichen Tagesablauf ich öfters durcheinander bringen musste, insbesondere Herrn Gerhard Eibinger, dessen Hilfsbereitschaft und Einsatz ein wesentlicher Teil dieser Arbeit gebührt. Außerdem danke ich meinen beiden Betreuern und vor allem Motivatoren Gernot Kreindl und Alexander Curtis für die konstruktiven Gespräche und wertvollen Diskussionen.

Kurzfassung

Bilanzierung einer Elektroaltgeräte- (EAG) Aufbereitungsanlage mittels Stoffstromanalyse

In dieser Arbeit sind zunächst Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG) selbst Untersuchungsgegenstand. Aufkommen, Zusammensetzung und Inhaltstoffe der Geräte und bestimmter Bauteile werden im Hinblick auf ihr Gefahren- und Wertpotential untersucht.

Danach wird der gesetzliche Hintergrund für die EAG-Behandlung aufgerollt. EAG unterliegen neben den allgemeinen Rechtsvorschriften Abfallwirtschaftsgesetz und Elektroaltgeräteverordnung noch acht weiteren Verordnungen, deren Vorschriften in dieser Arbeit kurz erläutert werden.

Es folgt ein Abriss über die Behandlungssituation in Österreich, gegliedert nach den vier abfallwirtschaftlichen Behandlungswegen Vermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung und Beseitigung. Die EAG-Behandlungsanlage am Saubermacherstandort Unterpremstätten wird vorgestellt.

Diese Anlage wird schließlich mittels Stoffstromanalyse bilanziert und bewertet. Die hierzu nötigen Schritte Beprobung, Sortierung und Laboranalyse sind ebenso Teil dieser Arbeit wie die Darstellung der Ergebnisse mit der Stoffstrombilanzierungssoftware STAN.

Abstract

Input-Output Analysis of a Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) Treatment Facility via Material Flow Analysis

The first subject of investigation in this Thesis is the Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) itself. The quantities of treated WEEE, composition and content of the appliances and their components are examined with regard to both their hazard and resource potential.

Subsequently, the legal background for the treatment of WEEE is presented. WEEE does not only underlie legal rule by the Federal Waste Management Act or the Waste Electric and Electronic Equipment Ordinance but also several other ordinances, the regulations of which regarding WEEE are shortly illustrated.

The state of the art of WEEE treatment in Austria is presented. The ways of treatment according to the Austrian waste treatment hierarchy, namely waste avoidance, preparation for re-use, recycling, thermal treatment and disposal are each looked at individually. The WEEE treatment facility of Saubermacher Dienstleistungs AG in Unterpremstätten is introduced as well.

Finally, the material flows of the Unterpremstätten facility are quantified and evaluated via material flow analysis. The sampling, sorting and laboratory analyses that are necessary for the mass balance and the laying out of the results using the material flow analysis software STAN are the final parts of this Thesis.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	3
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung	4
2 ELEKTROALTGERÄTE	5
2.1 Begriffsbestimmung	5
2.2 Aufkommen.....	7
2.3 Behandlungsanlagen	9
2.4 Zusammensetzung	11
2.4.1 Ausgesuchte Fraktionen	13
2.4.1.1 Leiterplatten	13
2.4.1.2 Batterien und Akkumulatoren	16
2.4.1.3 Kondensatoren.....	19
2.4.1.4 Tonerkartuschen	19
3 GESETZLICHE RAHMENBEDINGUNGEN.....	20
3.1 Abfallwirtschaftsgesetz [40]	20
3.2 Elektroaltgeräteverordnung [1].....	21
3.3 Abfallbehandlungspflichtenverordnung [39]	23
3.4 Abfallverbringungsverordnung [43]	25
3.5 Abfallverzeichnisverordnung [46]	25
3.6 Festsetzungsverordnung [47]	26
3.7 Abfallnachweisverordnung [48]	26
3.8 Batterienverordnung [28]	26
3.9 Abfallverbrennungsverordnung [50]	27
3.10 Deponieverordnung [51]	27
4 ELEKTROALTGERÄTEBEHANDLUNG.....	29
4.1 Abfallvermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung	29
4.2 Stoffliche Verwertung - Recycling	31
4.3 Thermische Verwertung	35
4.4 Thermische Beseitigung	35
4.5 Anlagenbeschreibung	36

5	CHARAKTERISIERUNG DER ABFÄLLE	44
5.1	Probenahme	44
5.1.1	Veranlassung/ Zielsetzung	45
5.1.2	Probenahmeplan	45
5.1.3	Durchführung der Probenahme	46
5.2	Sortierung	49
5.3	Siebung	53
5.4	Endergebnis Sortierung und Siebung Durchlauf	55
5.5	Laboranalytik [68]	57
5.5.1	Wassergehalt und Brennwert	65
5.5.2	Wertmetalle	66
5.5.3	Metalle der Abfallverbrennungsverordnung (AVV)	68
5.5.4	Chlor, Brom	70
6	STOFFSTROMANALYSE	71
6.1	Stoffstromanalyse nach ÖNORM S 2096 [2], [3]	71
6.2	Graphische Darstellung der Ergebnisse	73
6.2.1	Stoffströme gesamt [kg/h]	73
6.2.2	Stoffströme gesamt [%]	74
6.2.3	Zusammensetzung Durchlaufmaterial	75
6.2.4	Einzelne Stoffströme	75
7	DISKUSSION	81
8	ZUSAMMENFASSUNG	83
9	VERZEICHNISSE	84
9.1	Literatur	84
9.2	Abkürzungsverzeichnis	90
9.3	Tabellen	92
9.4	Abbildungen	93
	ANHANG A – JAHRESDATEN EAG-BEHANDLUNGSANLAGE	I
	ANHANG B – PROBENAHMEN	I
	ANHANG C – SORTIERUNG	I
	ANHANG D – SIEBUNG UND SORTIERUNG SORTIERREST	I
	ANHANG E –LABORANALYSE	I

1 Einleitung

Elektroaltgeräte stellen in zweierlei Hinsicht eine besondere Abfallart dar. Einerseits enthalten sie oft Schadstoffe - in Batterien und Kondensatoren sind Schwermetalle wie Cadmium und Blei Hauptinhaltsstoffe, Kondensatoren können giftige und persistente polychlorierte Biphenyle enthalten und in den verbauten Kunststoffen befinden sich u.a. Flammhemmer wie Antimontrioxid - wodurch eine wertstoffliche als auch thermische Verwertung erschwert werden. Andererseits weisen Elektro- und Elektronikaltgeräte ein hohes Wertstoffpotential auf. Eisen und Kupfer sind ebenso in nahezu allen Geräten verbaut wie Leiterplatten, die eine große Vielfalt an Metallen enthalten können, u.a. Gold und Silber in höheren Konzentrationen als in natürlichen Erzen.

Die Gesetzgebung wurde diesen Tatsachen gerecht, indem zum Ziele der Nutzung der Wertstoffpotentiale und Sicherstellung der fachgerechten Entsorgung der Schadstoffe Sammel- und Verwertungsquoten für EAG vorgeschrieben wurden. So ist seit Inkrafttreten der Elektroaltgeräteverordnung [1] 2005 die Entsorgung von Elektro-Altgeräten aus privaten Haushalten kostenlos. Dies führte wiederum im Laufe der vergangenen Jahre zu einem erhöhten Aufkommen an Altgeräten, auf das seitens der Entsorger reagiert wurde. Bis 2010 wurden am Saubermacher-Standort Unterpremstätten noch sämtliche Geräte rein manuell demontiert. Diese aufwendige Art der Behandlung wich ob der steigenden Massen an EAG einer automatisierten Vorzerkleinerung mittels Querstromzerspaner (QZ) und anschließender manueller Sortierung. Die durch mechanische Aufbereitungunterstützte Sortierung ist mittlerweile Stand der Technik in den meisten EAG-Behandlungsanlagen in Österreich.

Fast 40% des Inputmaterials verlassen die Anlage jedoch derzeit noch unsortiert. Hier soll der Ausbau um eine weitere Behandlungsstufe erfolgen. Für die Planung dieser Ausbaustufe ist es essentiell zu wissen, woraus dieses Durchlaufmaterial besteht und wie gut die Sortierleistung der Anlage zum derzeitigen Stand ist.

Zu diesem Zweck soll im Zuge dieser Arbeit eine Input/Outputbilanz erstellt werden. Das Instrumentarium hierzu bietet die Stoffstromanalyse nach ÖNORM S 2096 [2], [3], unterstützt durch die Bilanzierungssoftware STAN der TU Wien.

1.1 Problemstellung

Die EAG-Aufbereitungsanlage am Standort Unterpremstätten wurde im Sommer 2010 errichtet. Seit November 2010 werden hier Alt-Elektrokleingeräte (KEAG) wie Radios, Computer, Staubsauger, etc. mechanisch zerkleinert und händisch sortiert. Die Anlage hat eine Kapazität von 15.000 t/a (im 1-Schicht-Betrieb), zurzeit werden aber nur 400 t/Monat bzw. 5.000 t/a sortiert. Der Durchsatz soll kontinuierlich erhöht werden. Derzeit erfolgt der Ablauf der Aufarbeitung nach folgenden Prozessschritten: grobe Vorsortierung und Aufgabe des Materials auf das Förderband - Querstromzerspaner - Siebung - Magnetscheidung - manuelle Sortierung. Da die Anlage noch relativ neu ist und es keine Untersuchungen in Hinsicht einer umfassenden Stoffbilanz gibt, ist die Durchführung einer Stoffstromanalyse nach ÖNORM S 2096 von zentralem Interesse.

Die Anlage soll in naher Zukunft auch um eine weitere Aufbereitungsstufe erweitert werden, da der Durchlauf äußerst inhomogen ist und vermutlich noch größere Mengen an Wertstoffen enthält. Um weitere Aufbereitungsstufen planen zu können, bedarf es zunächst einer genauen Analyse der bereits vorhandenen Anlagenstufen. Im Rahmen einer Stoffstromanalyse soll also eine Material- und Stoffbilanz (Input/Outputbilanz) unter Einbeziehung aller wesentlichen Stoffströme erstellt werden. Dies beinhaltet auch die Durchführung von Sortieranalysen, die Probenahme und Auswertung sowie Darstellung der Ergebnisse von chemischen Analysen (z.B. Schwermetalluntersuchungen) mittels der Stoffstromanalyse-Software STAN.

Die Daten und Ergebnisse, die im Zuge dieser Masterarbeit gesammelt werden, sollen u.a. in die Planung des für heuer vorgesehenen Anlagenausbaus (Nachrüstung einer nachgeschalteten manuellen Sortierung, um die Ausbeute an Wertstoffen aus dem derzeit anfallenden Durchlauf zu erhöhen) fließen und als Informationsquelle für zukünftige Um- und Ausbaurbeiten dienen.

1.2 Zielsetzung

Um herauszufinden, wie sich die Wertstoffe und auch Schadstoffe in den verschiedenen Fraktionen an- bzw. abreichern, soll die Anlage mittels einer Stoffstromanalyse bilanziert werden. Erstens geht es darum herauszufinden welcher Anteil der in den Elektroaltgeräten befindlichen Wertstoffe momentan tatsächlich heraus geholt wird und welcher Aufschlussgrad dabei erreicht wird. Zweitens soll geklärt werden, wieviele und welche Schadstoffe durch die angewandten Trennverfahren entfrachtet bzw. nicht entfrachtet werden und in welchen Fraktionen sich die nicht entfrachteten Schadstoffe schließlich befinden.

Zudem ist zu prüfen, welchen weiteren Entsorgungspfaden die gewonnenen Fraktionen folgen und ob eine tiefere Aufbereitung zielführend ist. Es ist festzustellen, wie die Outputs der Anlage zusammengesetzt sind (Korngröße, Farbe, etc.) und welche Eigenschaften sie aufweisen. Dies ist notwendig um die Frage abzuklären, welche zusätzlichen Aufbereitungsaggregate für eine tiefere Aufbereitung sinnvoll wären.

2 Elektroaltgeräte

Dieses Kapitel grenzt zunächst den Begriff EAG ab und bietet einen Überblick über das aktuelle Aufkommen dieser Abfallart, den Anlagenstand in Österreich und schließlich der Zusammensetzung von Elektrokleingeräten mit speziellem Augenmerk auf bestimmte Fraktionen und Bauteile.

2.1 Begriffsbestimmung

Elektro- und Elektronikgeräte sind Geräte, die zu ihrem ordnungsgemäßen Betrieb elektrischen Strom oder elektromagnetische Felder benötigen, sowie Geräte zur Erzeugung, Übertragung und Messung solcher Ströme und Felder [1]. So werden Elektro- und Elektronikaltgeräte zusammenfassend mit dem Begriff Elektroaltgeräte bezeichnet. Diese unterliegen nach Ende der Nutzungsphase (bestimmungsgemäße Verwendung) bzw. bei Defekt automatisch dem Abfallregime.

Da der Begriff Elektrogeräte sehr unterschiedlich große und verschiedenartige Geräte umfasst, vom Kühlschrank bis hin zum Kinderspielzeug, werden die Geräte in verschiedene Kategorien eingeteilt um sie einem geeigneten Behandlungsweg zukommen zu lassen. Die Einteilung ist dabei in der österreichischen EAG-Verordnung anders als bei der europäischen Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)-Richtlinie [4]. Die WEEE-Richtlinie unterscheidet zehn Kategorien, und zwar Haushaltsgroßgeräte, Geräte der Unterhaltungselektronik, Haushaltskleingeräte, IT- und Telekommunikationsgeräte, Beleuchtungskörper, Werkzeuge, medizinische Geräte, Überwachungs- und Kontrollinstrumente, automatische Ausgabegeräte und Spielzeug, Sport- und Freizeitgeräte [4]. Die Geräte werden in der EU nach Herkunft und Art der Verwendung eingeteilt. Die EAG-Verordnung in Österreich teilt die Geräte jedoch nach Behandlungswegen ein, sie unterscheidet beispielsweise nicht zwischen einem Computerbildschirm und einem Fernsehflachbildschirm, die unter der WEEE-Richtlinie in zwei verschiedene Kategorien (IT- und Telekommunikationsgeräte und Unterhaltungselektronik) fallen würden. Im konkreten Fall wäre der Behandlungsweg für beide Geräte der gleiche. So werden EAG in Österreich in folgende Kategorien eingeteilt:

- Großgeräte,
- Kühl- und Gefriergeräte,
- Bildschirmgeräte einschließlich Bildröhrengeräte,
- Elektrokleingeräte und
- Gasentladungslampen.

Großgeräte sind Elektrogeräte, deren größte Kantenlänge größer oder gleich 50 cm beträgt, Kleingeräte sind Elektrogeräte mit einer größten Kantenlänge von unter 50 cm [1].

Elektrokleingeräte ist der Sammelbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Gerätegruppen. Dazu gehören gemäß [1]:

- Haushaltskleingeräte, z.B. Staubsauger, Toaster, Kaffeemaschinen, elektrische Zahnbürsten, Wasserkocher, Mixer;
- Informationstechnik- und Telekommunikationsgeräte (IT&T-Geräte), z.B. Telefone, Faxgeräte, Anrufbeantworter, Computer, Kopiergeräte;
- Unterhaltungselektronik, z.B. HiFi-Anlagen, DVD-Player, Radios, Verstärker, Musikinstrumente, Lautsprecher;
- Beleuchtungskörper, z.B. Schreibtischlampen, Stehlampen, Lichterketten, Lavalampen;
- Elektrische und elektronische Werkzeuge, z.B. Akkubohrer, Nähmaschinen, Lötwerkzeuge, Rasenmäher;
- Spiel-, Sport- und Freizeitgeräte, z.B. ferngesteuerte Autos, elektrische Eisenbahnen, Fahrradcomputer, Spielkonsolen;
- Medizinische Geräte, z.B. Kardiologiegeräte, Dialysegeräte, Beatmungsgeräte;
- Überwachungs- und Kontrollinstrumente, z.B. Voltmeter, Rauchmelder, Heizregler, Thermostate, Waagen.

Abbildung 1 zeigt eine Charge Elektroaltgeräte vor der Aufbereitung. Es lassen sich verschiedenste Geräte erkennen, u.a. Staubsauger, Computer, Wasserkocher, Lautsprecher, Lampen, Drucker, Radios.



Abbildung 1: Elektrokleingeräte

Eine immer noch gebräuchliche Einteilung ist auch jene zwischen Weiß- und Braunware. Nach ÖNORM S 2106 [5] sind Bild- und Ton-Aufzeichnungs- und Wiedergabegeräte Braunware, z.B. Kopfhörer, Radios, Fernsehgeräte, Lautsprecherboxen. Sämtliche Haushaltsgeräte, sowohl Groß- als auch Kleingeräte zählen zur Weißware. Geräte der Informationstechnik, medizinische Geräte, messtechnische Geräte, Heizgeräte, Werkzeuge und Motoren fallen jedoch unter den Begriff „Sonstige Elektrogeräte“ und zählen weder zur Braun- noch zur Weißware.

2.2 Aufkommen

Bei der Betrachtung des Aufkommens von Elektro- und Elektronikaltgeräten ist es wichtig, zwischen in Verkehr gesetzten Mengen und Sammelmengen zu unterscheiden. 2010 wurden in Österreich 158.439 t Elektro- und Elektronikgeräte in Verkehr gesetzt. Gesammelt wurden im selben Jahr 72.946 t, also weniger als die Hälfte. In Verkehr gesetzte Mengen und Sammelmengen lassen sich nur schwer zueinander in Beziehung setzen, da ein heute gekauftes Gerät erst nach mehreren Jahren Nutzung entsorgt wird. Die Nutzungsdauer von Elektro- und Elektronikgeräten schwankt sehr stark, von einem Jahr bei den meisten Mobiltelefonen bis zu 20 Jahren bei manchen Waschmaschinen oder Kühlschränken. Zudem werden Elektrogeräte auch bei Anschaffung eines neuen Geräts oft nicht gleich entsorgt, sondern entweder als Zweitgeräte weiter genutzt, verschenkt oder im Keller oder der Garage gelagert. Eine beträchtliche Menge an Altgeräten landet zudem im Restmüll. Bei einer Sortierkampagne in der Steiermark wurden im Mittel 1,8% Elektroaltgeräte im Restmüll gefunden [6]. Bei einem Restmüll-Gesamtaufkommen von 1.402.100 t (2010) [7] sind das 25.238 t EAG, die jährlich mit dem Restmüll entsorgt werden. Zudem kommt es leider heutzutage immer noch vor, dass alte Kühlschränke und anderer Müll auf wilden Deponien in Wald und Flur abgelagert werden.

Während die in Verkehr gesetzten Mengen also rein konsumabhängig sind, hängen die Sammelmengen von sehr vielen Faktoren ab. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, unterlag die Menge der verkauften Elektrogeräte in den letzten fünf Jahren nur geringfügigen Schwankungen.

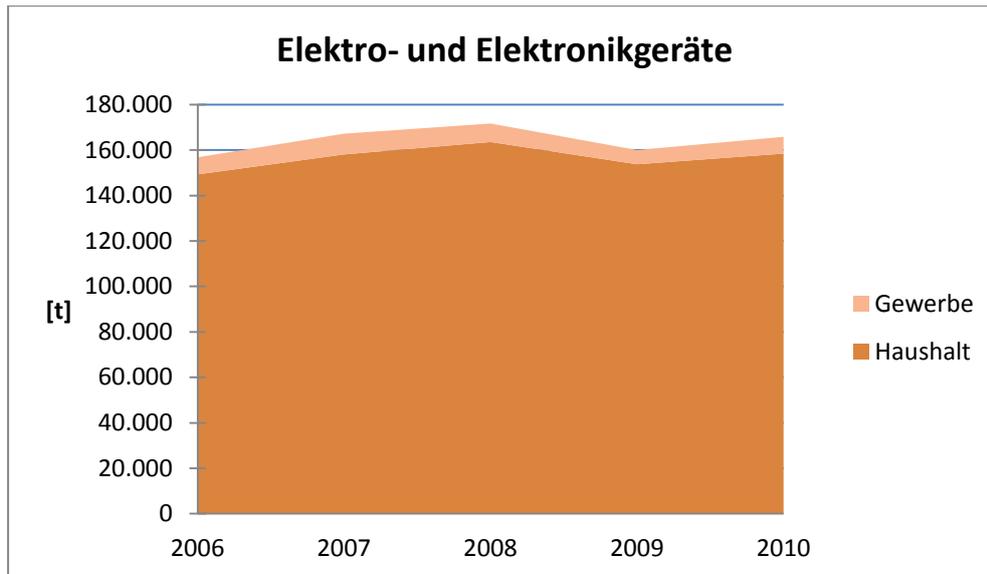


Abbildung 2: In Verkehr gesetzte Mengen an Elektrogeräten [8], [9], [10], [11], [12]

Die Unterschiede in den verkauften Mengen lassen sich hauptsächlich auf die Entwicklung neuer Technologien zurückführen. Beispielsweise lagen in Deutschland die Verkaufszahlen von Flachbildschirmfernsehern 2008 mit Stückzahlen von insgesamt 15 Millionen so hoch wie nie zuvor [13]. Hohe Verkaufszahlen führen nicht zwingend zu hohen Sammelmengen, da wie bereits erwähnt nicht jedes Gerät, das durch ein neues ersetzt wird, gleich entsorgt wird. Die Verkaufszahlen sind nur ein Indikator dafür, was die Abfallwirtschaft in Zukunft an Rücklaufmengen erwartet. Der Verlauf der Sammelmengen ist in Abbildung 3 erkennbar.

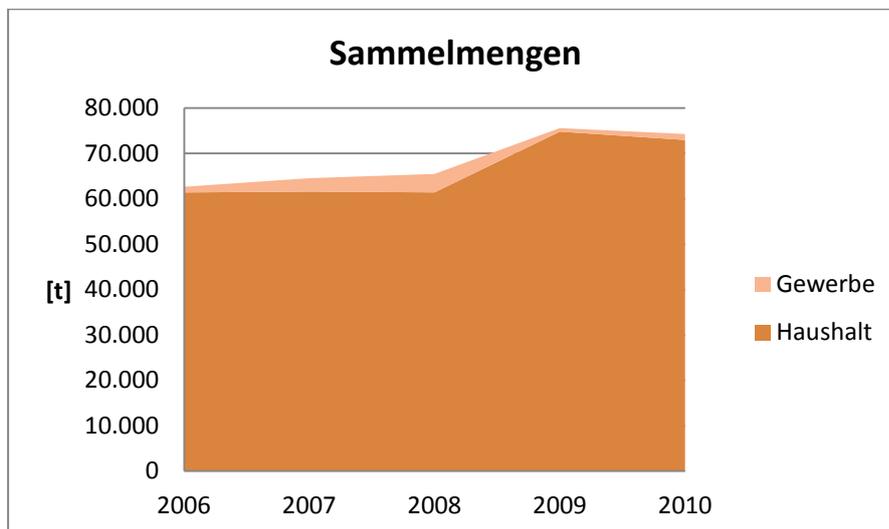


Abbildung 3: Elektroaltgerätaufkommen in Österreich [8], [9], [10], [11], [12]

Elektrogeräte, die vor dem in Krafttreten der Elektroaltgeräteverordnung am 13.08.2005 in Verkehr gebracht wurden, werden „historische Elektroaltgeräte“ genannt. Ihr Anteil am

Gesamtaufkommen betrug 2010 immer noch 90% bei den Elektrokleingeräten [14]. Das heißt, dass 90% der gesammelten Elektrokleingeräte über fünf Jahre alt sind.

Von den 72.946 t im Jahr 2010 in Österreich insgesamt gesammelten EAG waren 21.696 t Elektrokleingeräte. Diese machen damit knapp 30% der gesammelten EAG aus. Der Rest setzt sich, wie in Abbildung 4 zu sehen ist, zu jeweils etwa gleich großen Teilen aus Bildschirmgeräten, Kühlgeräten und Großgeräten zusammen.

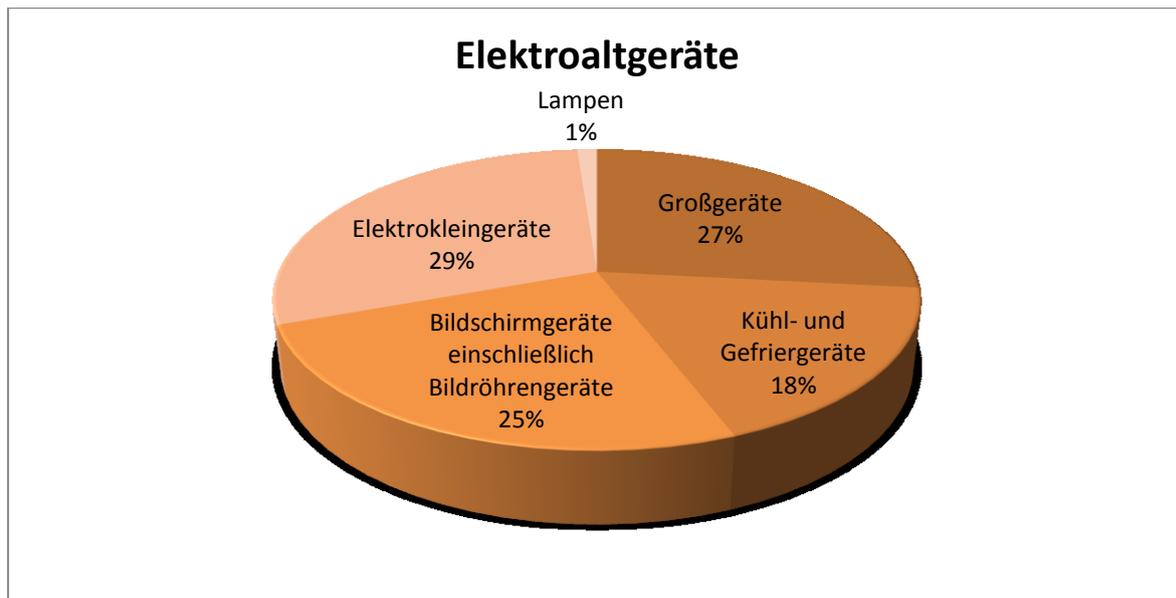


Abbildung 4: Anteil der Gerätegruppen am Gesamtaufkommen von EAG [12]

Elektrokleingeräte haben den geringsten Erfassungsgrad, da sie tonnengängig sind und somit der Hauptanteil mit dem Restmüll entsorgt wird. Diese Menge ist somit nicht erfassbar.

2.3 Behandlungsanlagen

In Österreich stehen derzeit insgesamt 40 Anlagen für die Behandlung von EAG zur Verfügung. In 20 davon werden Elektrokleingeräte manuell demontiert [7]. Bei ca. 14 (Stand 2006) dieser Anlagen wird das so aufbereitete Material nicht weiterbehandelt, es bleibt also bei der Erstbehandlung, d.h. Demontage u.v.a. Schadstoffentfrachtung. In den anderen wird das so vorbereitete Material zusätzlich mechanisch aufbereitet. Im Gegensatz dazu werden in vier Anlagen die Elektrokleingeräte zuerst mechanisch vorzerkleinert und danach manuell sortiert. Bei zwei Behandlungsanlagen findet vor der mechanischen Aufbereitung eine grobe Vorsortierung und Entfernung augenfälliger Schadstoffe (Toner, Bleiakkumulatoren) statt, so auch in Unterpremstätten. In zwei Anlagen werden Elektrokleingeräte repariert. Sieben Betriebe werden sozialökonomisch betrieben. Das bedeutet, dass soziale Aspekte wie beispielsweise die Resozialisierung von Langzeitarbeitslosen im Vordergrund stehen und erst in zweiter Linie die Wirtschaftlichkeit.

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht über die im Jahr 2006 in einer Studie des Umweltbundesamts erfassten 22 Anlagen zur Behandlung von EAG. Insgesamt wurden 12.857 t von den im gleichen Jahr gesammelten 14.614 t behandelt. [15]

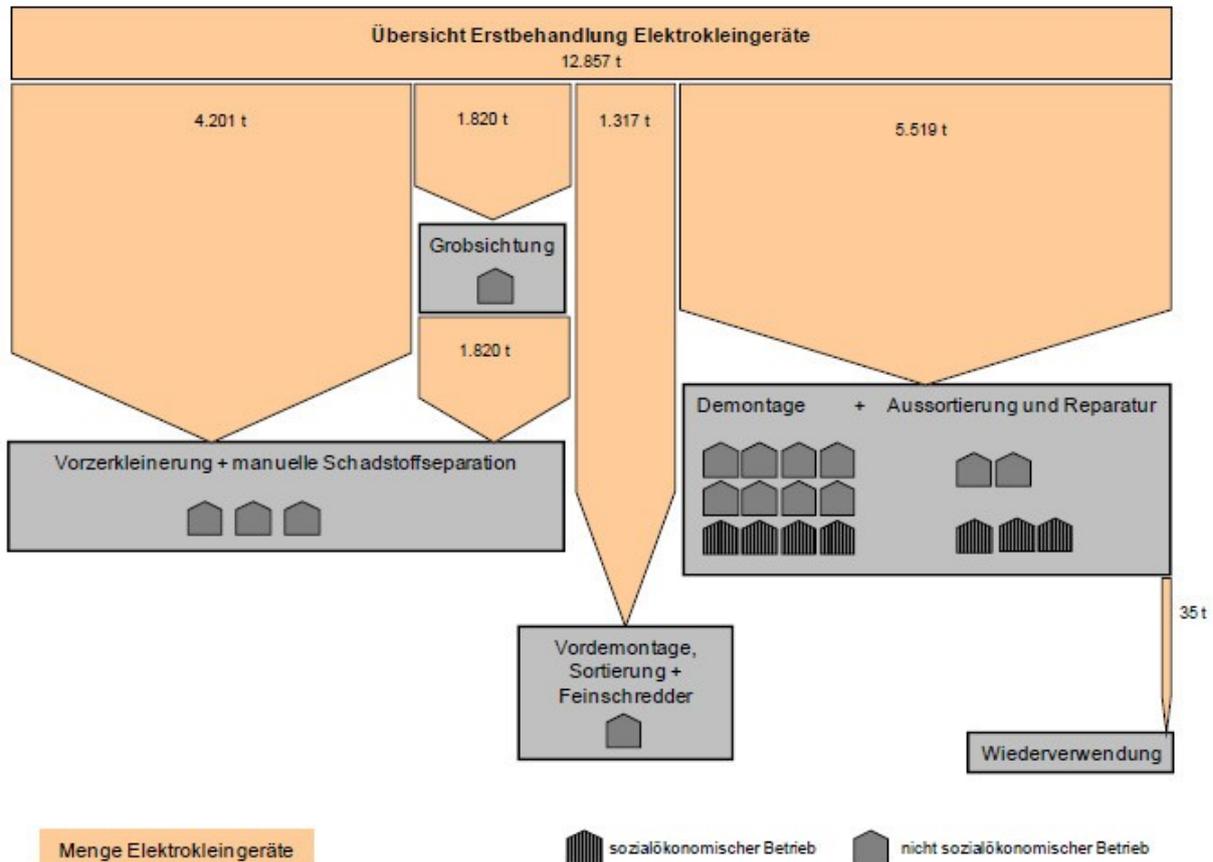


Abbildung 5: Übersicht Erstbehandlung EAG 2006 [15]

Erfolgt die Demontage nicht manuell, werden für die Vorzerkleinerung Querstromzerspanner, Rotorkettenzerkleinerer oder Smasher eingesetzt. Diese Aggregate beanspruchen das Material nur schlagend und nicht schneidend, wodurch eine Zerstörung schadstoffhaltiger Bauteile vermieden wird. Nur in einer Anlage kommt eine halbautomatische Demontageeinheit zum Einsatz, diese zerlegt Mobiltelefone und Leiterplatten im Hinblick auf die Wiederverwendung bestimmter Bauteile.

Die weitere Behandlung der Elektrokleingeräte ist abhängig von der Demontagetiefe. Werden nur Schadstoffe und besonders wertstoffreiche Bauteile entfernt, wird das verbleibende Material meist in Großshreddern weiter aufbereitet. Diese sogenannten *schadstoffentfrachteten Elektrokleingeräte*, auch Mischschrott genannt, werden jedoch bei der weiteren Zerkleinerung nicht mit anderen Materialien gemischt, da sie einen hohen Nichteisenanteil aufweisen und deshalb oft mehrere Durchläufe erforderlich sind. Nach der Zerkleinerung erfolgt die Trennung z.B. mittels Windsichter, Zick-Zack-Sichter, Lufttrennherd, Setztisch, Sink-Schwimm-Trennung, Wirbelstromscheidung, Magnetscheidung und eventuell weiteren Zerkleinerungsstufen mit nachfolgenden Trennstufen.

Bei weitergehender Demontage wie sie im Falle des Einsatzes von Zerkleinerungsaggregaten meist erfolgt, wird ein größerer Teil an Eisen- und anderen Metallschrotten gewonnen. Die auf diese Art *schadstoffentfrachteten Kleingeräte* weisen nach der Aufbereitung einen noch höheren Kunststoffanteil auf.

Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, betrug das Verhältnis zwischen manueller Demontage und mechanischer Vorzerkleinerung mit manueller Schadstoffseparation 2006 in etwa 50:50 [15].

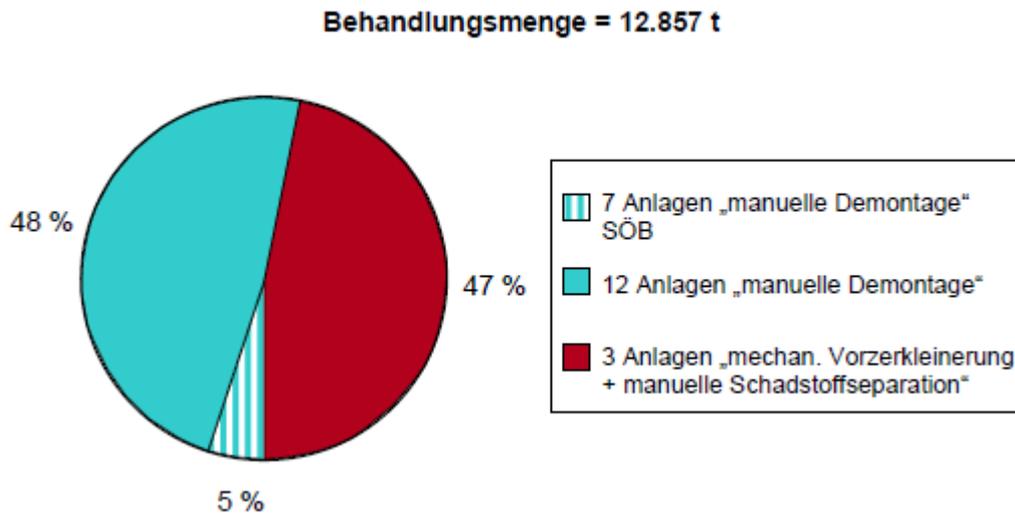


Abbildung 6: Anteile von Anlagen nach Demontagetiefe, inklusive sozialökonomische Betriebe (SÖB) [15]

Aufgrund der steigenden Mengen an Elektrokleingeräten hat sich dieses Verhältnis mit Sicherheit bereits in Richtung mechanisch unterstützter Demontage verschoben, zumal zu jenem Zeitpunkt die alte Anlage in Unterpremstätten ebenfalls nur eine manuelle Schadstoffentfrachtung von Elektrokleingeräten durchführte. Außerdem führen steigende Sekundärrohstoffpreise dazu, dass eine tiefere Aufbereitung attraktiver wird.

2.4 Zusammensetzung

Durchschnittlich bestehen EAG zu rund 62,5% aus Eisen, 25% aus Kunststoffen und zu 12,5% aus Nichteisenmetallen [7]. Die Zusammensetzung schwankt jedoch stark, was die unterschiedlichen Gerätegruppen betrifft. Ein Großrechner besteht zu fast 60% aus Eisen, während eine Kaffeemaschine zu rund 70% aus Kunststoff besteht [16]. Zudem bestehen Gehäuse älterer Geräte zu einem Großteil aus Eisen oder Holz, während in neueren Geräten meist Kunststoff verbaut wird. Der Eisenanteil ist bei Elektrokleingeräten in der Regel geringer als der Durchschnitt bei EAG gesamt. Abbildung 7 zeigt die stoffliche Zusammensetzung von Elektro-Haushaltskleingeräten [17].

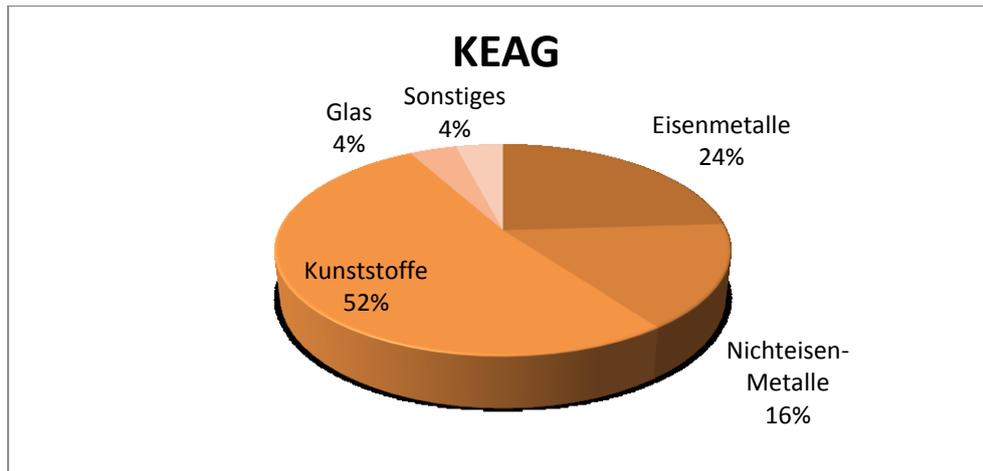


Abbildung 7: Zusammensetzung Elektrokleingeräte [17]

Elektroaltgeräte werden nicht nur aufgrund ihres hohen Eisenanteils und anderen Wertstoffen gesammelt, sondern auch aus Umweltschutzgründen. Sie können eine Vielzahl von Schadstoffen enthalten und sind somit für die Deponierung ungeeignet. In Tabelle 1 sind die gängigsten Umweltgifte, die in Elektrogeräten enthalten sein können aufgeführt.

Tabelle 1: Schadstoffe in EAG [18], [19], [20]

Schadstoffe in Elektroaltgeräten	
Schadstoff	Verwendung
Antimon	Flammhemmer in Kunststoffen
Asbest	Wärmeisolation und Brandschutz z.B. in Nachtspeicheröfen, Bügeleisen, Heizlüfter etc.
Barium	Getterstoff (Sorptionsmedium), Glaszuschlagsstoff in Bildröhren
Beryllium	im Kupfer als Legierung, Isolatoren
Blei	Lötzinn, Glaszuschlagsstoff in Bildröhren, Akkumulatoren
Brom	Flammhemmer, Halogenlampen
Cadmium	Akkumulatoren, Photozellen, Gleichrichter, lichtempfindliche Schichten der Kopiertechnik, Leuchtstoffe (z.B. Bildschirmbeschichtungsmaterial)
Chlor	Flammhemmer
Chrom	Pigmente, Legierungsbestandteile
Nickel	Akkumulatoren
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Isolier- und Kühlflüssigkeiten, Dielektrikum in Kondensatoren, Transformatorenöl
Quecksilber	Schalter, Gleichrichter, Batterien, Elektroden, Lote, Quecksilberdampflampen
Selen	Selenphotoelemente, Gleichrichter
Thallium	Hochtemperatursupraleiter, Spezialgläser
Yttrium	Fluoreszenzröhren, Farbfernseher
Zinn	Lote, Transformatorenöl, PVC-Hitzestabilisatoren

Gleichzeitig enthalten Elektroaltgeräte zum Teil sehr hohe Wertstoffanteile. Neben Eisen und Kupfer sind die in sämtlichen Elektrogeräten vorkommenden Leiterplatten in dieser Hinsicht interessant. Edelmetallkonzentrationen in Leiterplatten sind meistens deutlich höher als in natürlichen Erzen [21]. Bei einer Untersuchung von Elektroaltgeräten der Sammelgruppe 3 nach WEEE-Richtlinie (IT- und Telekommunikationsgeräte) wurde festgestellt, dass eine Tonne Altgeräte rund 22,5 g Gold enthält. Nur 25% dieses Goldes befindet sich jedoch nach der Aufbereitung in Fraktionen, aus denen die Edelmetalle zurückgewonnen werden können. 40% des Goldes wird mit der Eisenmetallfraktion verhüttet und ist somit nicht wiedergewinnbar [21]. Neben Gold und Silber enthalten Elektroaltgeräte noch viele andere Edelmetalle, wie die sogenannten Platinmetalle (PGM) Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium und Platin, sowie seltene Erden. Einen Überblick über die in Elektroaltgeräten enthaltenen Wertstoffe gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Wertstoffe in Elektroaltgeräten [21], [22]

Wertstoffe in Elektroaltgeräten	
<i>Metalle</i>	<i>Vorkommen</i>
Kupfer	Kabel, Motoren, Transformatoren, Leiterplatten
Eisen	Sämtliche Elektroaltgeräte, z.B. Werkzeuge, Motoren, Bügeleisen, Computergehäuse
Blei	Batterien
Zinn, Bismut, Tantal, Antimon, Indium	Leiterplatten
Edelmetalle	
Gold, Silber, Palladium, Iridium, Ruthenium, Rhodium, Osmium	Leiterplatten
Nichtmetalle	
Selen, Tellur	Leiterplatten
Seltene Erden	
Lanthan, Cer, Neodym, Praseodym	Nickelmetallhydrid-Akkumulatoren

2.4.1 Ausgesuchte Fraktionen

Bei der Behandlung von Elektroaltgeräten werden nicht nur Eisen, Aluminium und andere Stoffe rückgewonnen, sondern auch ganze Bauteile und Baugruppen. Um einen Überblick über deren Inhaltsstoffe zu bekommen, erfolgt in diesem Abschnitt eine Untersuchung in Hinblick auf ihr Wert- und Gefahrenpotential.

2.4.1.1 Leiterplatten

Die höchste Konzentration an Edelmetallen befindet sich wie bereits oben erwähnt in Leiterplatten. Leiterplatten kommen nicht nur in Computern vor, sondern in sämtlichen Elektrogeräten vom Mobiltelefon bis zum Elektroherd. Ihre durchschnittliche Zusammensetzung ist in Abbildung 8 zu sehen.

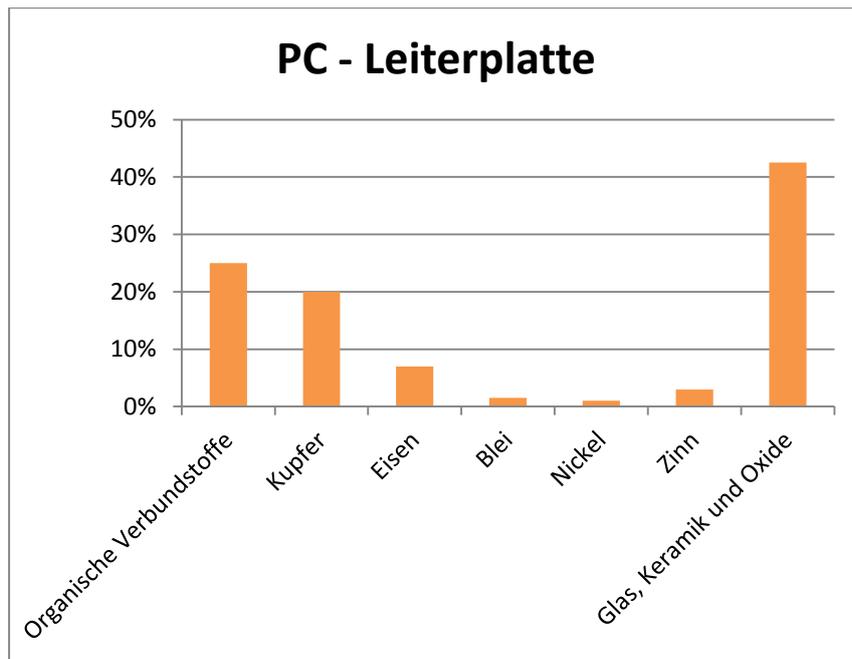


Abbildung 8: Typische Zusammensetzung von PC-Leiterplatten [16], [23]

Des Weiteren enthalten Leiterplatten ca. 0,025% Gold, 0,1% Silber, 0,01% Palladium und Spuren von Arsen, Antimon, Beryllium und Bismut [23]. Die Edelmetallkonzentration im Elektroschrott übersteigt somit zwar jene in natürlichen Erzen, aber herkömmliche Metallhütten sind meist auf eine bestimmte Metallsorte wie Kupfer oder Gold spezialisiert und aus diesem Grund nicht in der Lage, alle in den Platinen enthaltenen Wertstoffe zurückzugewinnen. Daher haben sich in den 90er Jahren einige Hütten auf den Einsatz von edelmetallhaltigen Sekundärmaterialien spezialisiert. Im speziell dafür entwickelten Umicore-Verfahren beispielsweise können derzeit 18 verschiedene Metalle (Gold, Silber, Palladium, Platin, Ruthenium, Rhodium, Iridium, Rubidium, Kupfer, Blei, Nickel, Zinn, Selen, Gallium, Antimon, Tellur, Bismut, Indium) wiedergewonnen werden [23].

Je nach Vergoldungsgrad werden Leiterplatten in drei verschiedene Qualitätsklassen eingeteilt. So haben Leiterplatten der Klasse I an mindestens einem Rand eine Vergoldung an Steckerleisten/Kämmen und sind mit zahlreichen Integrated Circuits (integrierter Schaltkreis oder Chip, Abkürzung: IC) bestückt, während Leiterplatten II mit ICs bestückte Platinen sind, auf denen keine oder nur wenige Vergoldungen mit bloßem Auge sichtbar sind. Leiterplatten mit Relais (Schalter) sowie lose Relais gehören ebenfalls zu dieser Gruppe. Sogenannte minderwertige Leiterplatten (Leiterplatten III) sind Platinen, bei denen keine Vergoldungen sichtbar sind und auf denen sich außer Chips auch noch andere Bauteile (Kühlkörper, Trafos, Kondensatoren usw.) befinden. Letztere stammen meist aus der Unterhaltungselektronik, Monitoren, Kfz usw. [24]. Beispiele für Leiterplatten I, II und III zeigt Abbildung 9.

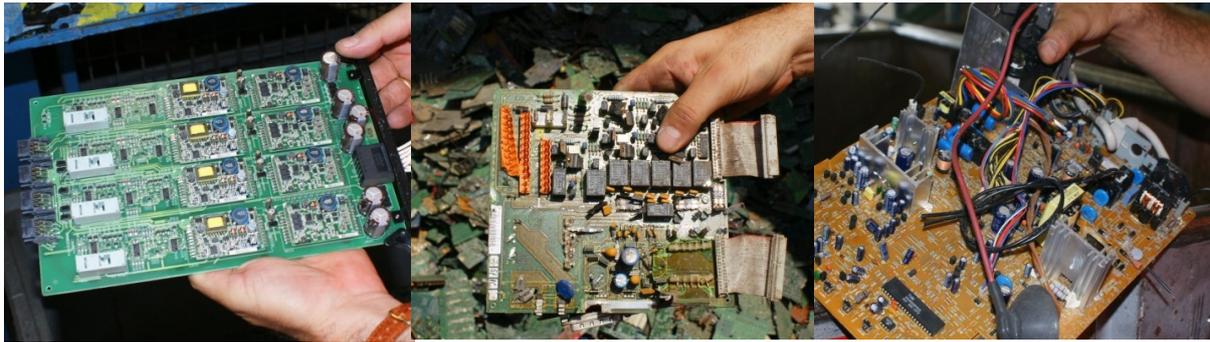


Abbildung 9: Leiterplatten I, II und III (von links nach rechts)

Der Preisunterschied für die verschiedenen Qualitäten liegt zwischen 0,2 und 5,25 Euro/kg [24].

Das Basismaterial von Chips und Prozessoren besteht entweder aus Keramik oder aus Kunststoff. Abbildung 10 zeigt diese beiden Bauarten für Prozessoren und Abbildung 11 für ICs.



Abbildung 10: Kunststoffprozessoren mit Goldfüßen, Keramikprozessoren mit Goldfüßen [24]



Abbildung 11: Kunststoffchips und Keramikchips [24]

CPU, RAM und EPROM sind spezielle Arten von ICs. Weitere Leiterplattenbestandteile sind Stecker, Widerstände, Dioden und Transistoren. Stecker können vergoldete Pins haben wie in Abbildung 12 und sind deshalb ein Qualitätskriterium für Leiterplatten.



Abbildung 12: Stecker mit vergoldeten Pins [25]

Bei Schaltern gibt es sehr viele unterschiedliche Bauarten. Die Kontakte bestehen aber aus Edelmetallen oder Edelmetalllegierungen. Quecksilberschalter wie in Abbildung 13 dargestellt werden zwar nicht mehr produziert, sind aber in älteren Geräten noch vorhanden. Widerstände und Dioden enthalten eine Vielzahl an Metallen, v.a. Kupfer und Eisen. Transistoren bestehen zum Großteil aus Kupfer. Blei, Nickel, Zinn und Cadmium kommen ebenfalls häufig in sämtlichen Leiterplattenbestandteilen vor, aber zu einem wesentlich geringeren Anteil.



Abbildung 13: Quecksilberschalter [26]

Das Basismaterial von Leiterplatten besteht entweder aus glasfaserverstärktem Epoxydharz, glasfaserverstärktem Teflon oder harzgetränktem Hartpapier und Spezialsubstraten [27].

2.4.1.2 Batterien und Akkumulatoren

2010 wurden in Österreich 13.021 t Altbatterien getrennt gesammelt. In dieser Menge sind Geräte-, Fahrzeug- und Industriebatterien enthalten, deren Aufkommen 2010 wie folgt ausgefallen ist: 11.359 t Fahrzeugbatterien, 1.647 t Gerätebatterien, 15 t Industriebatterien. Zählt man Altbatterien um des Vergleiches willen zu den Elektroaltgeräten dazu, so würden Altbatterien 15% des Gesamtaufkommens ausmachen wie dies in Abbildung 14 dargestellt wird.

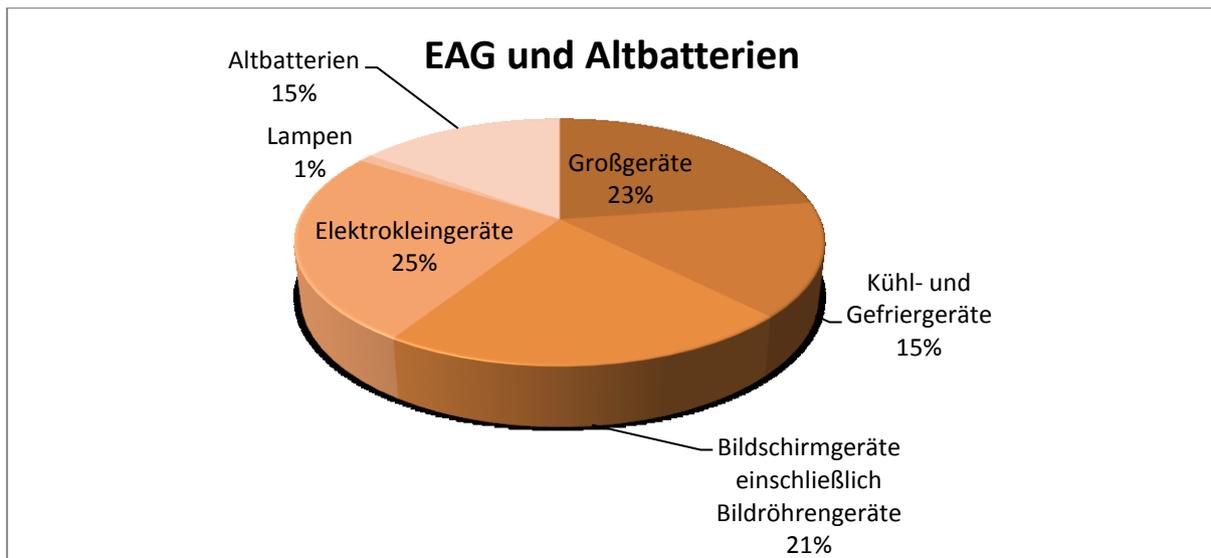


Abbildung 14: 2010 gesammelte Elektroaltgeräte inklusive Altbatterien [12]

Getrennt gesammelte Batterien werden jedoch üblicherweise nicht zu den Elektroaltgeräten gezählt, da diese ja selbst oft noch Batterien enthalten und Batterien gemäß Batterienverordnung [28] getrennt zu erfassen sind. Der Anteil an Batterien in Elektrokleingeräten liegt bei rund 1%.

Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche Zusammensetzung der getrennt gesammelten Batterien. Die Summe ergibt nicht genau 100%, was auf die Folgen von Rundungen zurückzuführen ist.

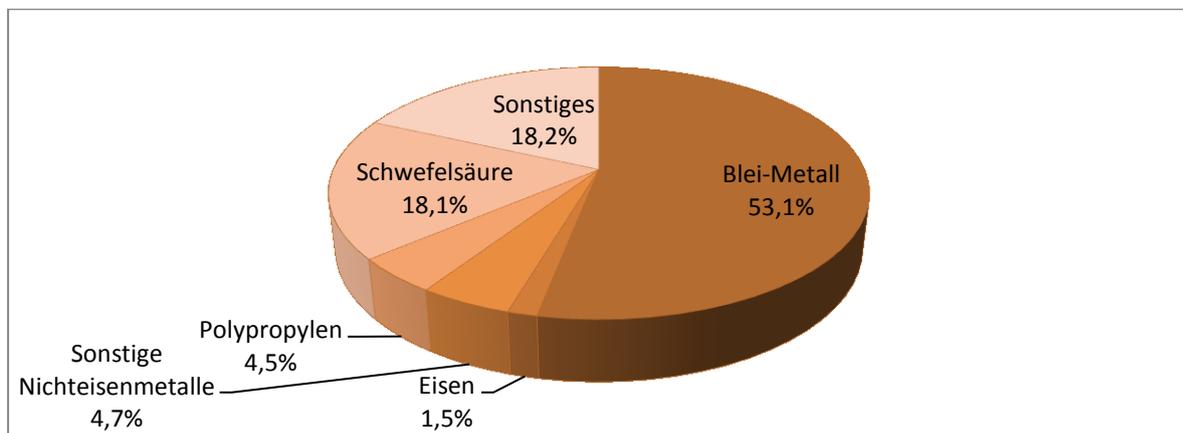


Abbildung 15: Durchschnittliche Bestandteile von Altbatterien [12]

Fast 90% der in Österreich 2010 gesammelten Altbatterien entfallen auf Fahrzeugbatterien, was den hohen Bleianteil erklärt. Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass dies nicht der Zusammensetzung der in Elektrokleingeräten vorkommenden Batterien entspricht.

Batterien werden grundsätzlich in Primärbatterien und Sekundärbatterien eingeteilt. Primärbatterien sind einmalig verwendbare Batterien, während Sekundärbatterien

wiederaufladbare Batterien sind, die im allgemeinen Sprachgebrauch als Akkumulatoren bezeichnet werden. Zu den Primärbatterien zählen u.a. die Zink-Kohle-Batterie, die Alkali-Mangan-Batterie und die Lithium-Eisensulfid-Batterie. Weiters wird je nach Bauart zwischen Rundzellen und Knopfzellen unterschieden.

Batterien enthalten neben ungefährlichen Stoffen wie Papier, Stahlblech, Wasser oder Kunststoff oft Gefahrenstoffe. Dazu gehören Quecksilber, Blei, Cadmium und Mangandioxid. Quecksilber wurde früher als Kathode in Zn/HgO-Knopfzellen verwendet, die 30% des giftigen Metalls enthalten. Sie werden jedoch zunehmend von Lithiumzellen verdrängt. Andere Batterien enthalten wesentlich geringere Mengen (ca. 1%) als Inhibitor, was jedoch von Seiten der Hersteller ebenfalls bereits vermieden wird. So konnten die Primärbatteriehersteller den Quecksilbergehalt von 1% in den Jahren 1984 bis 1990 auf 0,015% senken. 1985 betrug der Quecksilbereintrag von Batterien über den Hausmüll etwa 60 t pro Jahr, 1990 nur mehr fünf Tonnen. Heute werden nur noch Batterien mit weniger als 0,025% Quecksilber hergestellt. [29]

Blei erreicht unter allen Buntmetallen die höchste Recyclingquote, und zwar 55 bis 60%. Das liegt an der überaus hohen Sammel- und Wiederverwertungsquote von Bleiakkumulatoren, die bei 90% liegt. Sie können ohne vorherige Aufbereitung in der Bleihütte verwendet werden. So deckt Sekundärblei in Deutschland ein Drittel des gesamten Bleibedarfs. [30]

Cadmium ist in Ni/Cd-Sekundärzellen zu rund 20% enthalten [31]. Dieses kann mittels Vakuumdestillation rückgewonnen werden und so zu neuen Batterien verarbeitet werden. Das dabei ebenfalls gewonnene Stahl-Nickel-Gemisch wird in der Stahlerzeugung verwertet [32]. Die bis vor wenigen Jahren marktführende Ni/Cd-Sekundärbatterie wird zunehmend von den Systemen Nickel-Metallhydrid und Lithium-Ionen verdrängt [32].

Mangandioxid, auch „Braunstein“ genannt, ist Hauptbestandteil von sauren („Zink-Kohle-Batterie) und alkalischen („Alkalibatterie“) Zn/MnO₂-Primärbatterien sowie von Li/MnO₂-Batterien. Diese Batterien enthalten 25 bis 30% Mangan. Früher konnten Alkali- und Zink-Kohle-Batterien aufgrund ihres Quecksilbergehalts nicht wiederverwertet werden und wurden meist als gefährlicher Abfall untertage deponiert. Mittlerweile können diese Batterien jedoch in Zinkhütten verwertet werden. Außerdem existieren spezielle Aufbereitungsverfahren für diese Batterien, die etwa 80% aller eingesetzten Gerätebatterien ausmachen. [32]

Beim nasschemischen Revabatprozess beispielsweise werden die Batterien zu 55% recycelt. Es werden sämtliche enthaltene Metalle wie Eisen, Mangan und Zink als auch Graphit dabei rückgewonnen. [33] Lithiumbatterien mit ebenfalls ca. 25% Mangan [29] werden zur Wiedergewinnung von nickelhaltigem Eisen und Ferromangan mittels Vakuumdestillation verwendet. Das enthaltene Lithium dient dabei als Reduktionsmittel und wird nicht wiedergewonnen. [32]

Neben Giftstoffen enthalten Batterien oft ätzende Flüssigkeiten wie Salmiak (in Zink-Kohle-Batterien), Schwefelsäure (in Bleiakkumulatoren) und Kalilauge (Ammoniumchlorid, in Ni/Cd-Akkumulatoren), die der Batterie als Elektrolyt dienen. Schwefelsäure wird als Nebenprodukt

bei verschiedenen Recyclingverfahren gewonnen. Kalilauge und Salmiak werden im Laufe der Verfahren neutralisiert, Verunreinigungen werden ausgefällt und filtriert. [32]

Weiters werden Nickel, Kupfer und Silber aus Altbatterien wiedergewonnen. Die größten Mengen machen jedoch Blei, Eisen, Mangan und Zink aus. Nickel und Cadmium sind ebenfalls häufige Batteriebestandteile, während Quecksilber und Silber aufgrund ihrer Umweltrelevanz bzw. ihres Preises nur in geringen Mengen vertreten sind. [29] Die Verwertung von Lithiumbatterien findet derzeit nur in Kanada und den USA im industriellen Maßstab statt, wird aber vermutlich aufgrund des zunehmenden Elektrofahrzeugaufkommens in Zukunft auch in Europa durchgeführt werden. [32], [34]

Insgesamt werden immer mehr Batterien verwertet. Lag die Verwertungsquote von Batterien 2000 noch bei nur 33%, so wurden in Deutschland 2004 bereits 77% der aus Haushalten gesammelten Batterien einer Verwertung zugeführt [35].

2.4.1.3 Kondensatoren

Kondensatoren sind Ladungsspeicher und kommen in fast allen elektrischen Geräten vor. Sie werden nach Bauart unterschieden. Es gibt Elektrolytkondensatoren, Papierkondensatoren, Metallpapierkondensatoren, Keramikkondensatoren, Kunststofffolien-Kondensatoren und Glimmerkondensatoren. Von besonderem Interesse sind jedoch nur Elektrolytkondensatoren und Papierkondensatoren, da diese polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten können. Bei einer Untersuchung von Kondensatoren aus Elektrogroßgeräten 1994 betrug der Anteil PCB-haltiger Kondensatoren ca. 60%. [36]

PCB sind nicht nur persistent und toxisch, sondern können unter den üblichen Bedingungen der Müllverbrennung zur Bildung von Dibenzodioxinen und -furanen beitragen. Da PCB-haltige Kondensatoren jedoch hauptsächlich in Großgeräten und Leuchten verwendet wurden, ist bei Elektrokleingeräten laut [17] nicht mit dieser Problematik zu rechnen.

Obwohl der Einsatz von PCB in der Herstellung bereits seit 1989 EU-weit verboten ist, muss bei älteren Geräten und Geräten mit unbestimmter Herkunft noch mit dem Vorhandensein von PCB gerechnet werden. Da sie derart gefahrenrelevante Eigenschaften haben und gleichzeitig keine hohen Anteile verwertbarer Materialien enthalten, wodurch die Trennung in PCB-haltige Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren mit unverhältnismäßig hohem wirtschaftlichen Aufwand verbunden wäre, ist der übliche Behandlungsweg für Kondensatoren die thermische Beseitigung.

2.4.1.4 Tonerkartuschen

Tonerkartuschen kommen in Druckern, Faxgeräten und Kopiergeräten vor und können Schwermetalle und Lösemittel enthalten. Außerdem können Fotoleitertrommeln mit ihnen verbaut sein. Neuartige Fotoleitertrommeln sind zwar unproblematisch, ältere können jedoch mit Cadmiumsulfid oder Selen beschichtet sein. Tonerkartuschen können wiederbefüllt, entleert und verwertet, oder thermisch beseitigt werden. [37]

3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Elektroaltgeräte sind Gegenstand zweier EU-Richtlinien; zum Einen wurde 2003 die Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte erlassen, besser bekannt als WEEE- (Waste Electrical and Electronic Equipment) Richtlinie [4], und zum Anderen die RoHS- (Restriction of Hazardous Substances) Richtlinie [38], die die Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten beschränkt. Die Bestimmungen der RoHS-Richtlinie wurden in die Abfallbehandlungspflichtenverordnung [39] (siehe Abschnitt 3.3), die Elektroaltgeräteverordnung [1] (Abschnitt 3.2) und ins Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) [40] (siehe Abschnitt 3.1) inkorporiert. Die WEEE-Richtlinie wurde in Form der Elektroaltgeräteverordnung in nationales Recht umgesetzt.

3.1 Abfallwirtschaftsgesetz [40]

Das österreichische Abfallwirtschaftsgesetz enthält nicht nur Definitionen, Ziele und Grundsätze der österreichischen Abfallwirtschaft, sondern auch Pflichten von Abfallsammlern und -behandlern sowie von Sammel- und Verwertungssystemen. Wie von der europäischen Abfallrahmenrichtlinie [41] vorgegeben, ist der oberste Grundsatz dabei die Vermeidung von Abfall. Die Behandlungshierarchie ist in Abbildung 16 dargestellt.



Abbildung 16: Hierarchie der österreichischen Abfallwirtschaft gemäß AWG-Novelle 2010

Entsprechend der Hierarchie des AWG soll erst dann recycelt werden, wenn Abfallvermeidung und Wiederverwertung nicht möglich sind. Die Beseitigung von Abfall steht an der Spitze der gestürzten Pyramide, da sie die letztmögliche Option ist, wenn die zu bevorzugenden Behandlungsmöglichkeiten darüber nicht durchführbar sind. Es soll also so wenig wie möglich beseitigt werden und so viel wie möglich vermieden, wiederverwendet und (stofflich) verwertet werden.

Eine wesentliche Bestimmung des AWG, die die Verwertung bestimmter Abfälle erschwert, ist das Vermischungsverbot. Es besagt, dass Abfälle nicht mit anderen Abfällen oder Sachen vermengt werden dürfen, wenn u.a.

„nur durch den Mischvorgang

a) abfallspezifische Grenzwerte oder Qualitätsanforderungen oder

b) anlagenspezifische Grenzwerte in Bezug auf die eingesetzten Abfälle eingehalten werden“ [40, §15 Abs. 2].

So darf beispielsweise Bleiglas nicht als Sekundärrohstoff eingesetzt werden, da nur dann der Grenzwert für den Bleigehalt eingehalten würde. So muss bei der Erzeugung von Bleiglas erneut Blei zugesetzt werden. Auch die mögliche Verwertungsquote von Kunststoffen wird dadurch verringert (siehe Abschnitt 4.2).

Was Elektroaltgeräte betrifft, ist die Herstellerverantwortung (siehe Abschnitt 3.2) im AWG ebenso verankert wie in der Elektroaltgeräteverordnung, mit dem Unterschied, dass das AWG Hersteller von Batterien und Akkumulatoren einschließt.

Um der Sammlung, Bereitstellung, Abholung und Verwertung von Abfällen nachzukommen, obliegt es dem Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft eine zentrale Stelle zur Koordinierung dieser Tätigkeiten einzurichten. Für Elektroaltgeräte ist dies die Elektroaltgerätekoordinierungsstelle Austria (EKA). Sie hat unter Anderem folgende Aufgaben:

- Abschluss von Vereinbarungen mit Sammel- und Verwertungssystemen über die Abholung von Abfällen, die Sammelinfrastruktur, die Information der Letztverbraucher und die Finanzierung dessen;
- Koordinierung von Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz von Sammel- und Verwertungssystemen;
- Entgegennahme und Evaluierung der Mengenmeldungen der Sammel- und Verwertungssysteme;
- Entgegennahme von Meldungen eines Abholbedarfs und seine Durchführung;
- Erstellung eines Tätigkeitsberichts.

Abfallerzeuger, -sammler und -behandler haben ihre fortlaufenden Aufzeichnungen über Art, Menge, Herkunft und Verbleib von Abfällen im Elektronischen Datenmanagement- (EDM) Portal des Umweltbundesamts zu führen. Dieses veröffentlicht auf Basis dieser Daten jährlich einen Bundesabfallwirtschaftsplan, in dem die Ist-Situation der Abfallwirtschaft dargelegt wird.

Das EDM existiert seit 2005 für Elektrogeräte als „e-EAG“ und für Batterien als „e-Batterien“ und wurde bis jetzt vom Bund finanziert. Ab 2012 sollen die Sammel- und Verwertungssysteme, die im Bereich Elektroaltgeräte und Batterien tätig sind, die Kosten für Wartung und Betrieb des EDM übernehmen (EDM-Aufwandersatzverordnung). [42]

3.2 Elektroaltgeräteverordnung [1]

Die Elektroaltgeräteverordnung beinhaltet Vorschriften für all jene, die mit Elektrogeräten zu tun haben und betrifft also nicht nur Sammler und Behandler von EAG, sondern auch Hersteller, Verbraucher und Vertreiber von Elektrogeräten. Gemäß WEEE-Richtlinie enthält

sie das Sammelziel von mindestens 4 kg pro Jahr und Einwohner. Außerdem werden die Geräte in die bereits in Abschnitt 2.1 beschriebenen Kategorien eingeteilt.

Was Hersteller betrifft, enthält die Verordnung ein Verbot Elektro- und Elektronikgeräte in Verkehr zu setzen, die Quecksilber, Cadmium, Chrom (VI), Blei, polybromiertes Biphenyl (PBB) oder polybromierten Diphenylether (PBDE) enthalten. Hersteller haben außerdem die Verpflichtung Altgeräte zurückzunehmen bzw. Sammler mit der Rücknahme von Altgeräten zu beauftragen. Seit August 2005 sind Hersteller für die Sammlung von Altgeräten verantwortlich und zwar im Verhältnis ihrer in Verkehr gesetzten Geräte zu den gesamt in Verkehr gesetzten Geräten. Um dieser Verpflichtung nachzukommen, müssen die Hersteller entweder selbst Geräte sammeln und verwerten oder an Sammel- und Verwertungssystemen teilnehmen. Für alle nach dem August 2005 in Verkehr gesetzten Geräte sind die Hersteller für deren Rücknahme und Behandlung verantwortlich. Dies umfasst

- Die Eintragung der in Verkehr gesetzten Massen in ein elektronisches Datenregister (EDM)
- die Einhaltung vorgegebener Wiederverwendungs- und Verwertungsziele,
- Aufzeichnungen über die Masse der Elektro- und Elektronik-Altgeräte, ihre Bauteile, Werkstoffe und Substanzen,
- die Kennzeichnung der Geräte mit dem in Abbildung 17 dargestellten Symbol,
- die Übermittlung von Informationen für die Wiederverwendung und Behandlung an Inhaber von Reparaturbetrieben und Behandlungsanlagen in Form von Handbüchern oder in elektronischer Form,
- die Übermittlung von Informationen über die erfolgte Wiederverwendung und Behandlung an die Koordinierungsstelle;



Abbildung 17: Symbol für die getrennte Sammlung

Bei der Wiederverwendung und Behandlung sind die in Tabelle 3 angeführten Verwertungsquoten einzuhalten.

Tabelle 3: Verwertungsquoten für Elektrokleingeräte

Gerätekategorie	Verwertungsquote in %	Quote der Wiederverwendung und der stofflichen Verwertung für Bauteile, Werkstoffe und Substanzen in %
Haushaltskleingeräte	70	50
IT&T-Geräte	75	65
Unterhaltungselektronik	75	65
Beleuchtungskörper	70	50
Elektrische und elektronische Werkzeuge	70	50
Spiel-, Sport- und Freizeitgeräte	70	50
Medizinische Geräte	-	-
Überwachungs- und Kontrollinstrumente	70	50
Beleuchtungskörper	-	80

Sammel- und Verwertungssysteme haben für die entsprechende Flächendeckung zu sorgen, so dass zumindest eine Sammelstelle pro politischem Bezirk vorhanden ist. Sie müssen außerdem mindestens 5% der Masse an jährlich in Verkehr gesetzten Elektrogeräten bei einer Sammel- und Behandlungskategorie bzw. 20% bei mehreren Kategorien erreichen. Ab einer bestimmten Mengenschwelle haben Sammler der Koordinierungsstelle einen Abholbedarf zu melden. Einmal jährlich sind dem Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft teilnehmende Hersteller sowie Geschäfts- und Tätigkeitsbericht zu übermitteln.

Letztvertreiber müssen ebenfalls Altgeräte Zug-um-Zug zurücknehmen, wenn sie ein gleichartiges Gerät verkaufen.

Der Verbraucher kann seine Altgeräte also sowohl bei eigens eingerichteten Sammelstellen, als auch beim Letztvertreiber oder beim Hersteller unentgeltlich abgeben. So soll eine Sammelmasse von mindestens 4 kg pro Einwohner erreicht werden. 2010 wurden in Österreich 9,09 kg/EinwohnerIn gesammelt [7].

3.3 Abfallbehandlungspflichtenverordnung [39]

Die Abfallbehandlungspflichtenverordnung legt Mindestanforderungen an die Sammlung, Lagerung und Behandlung von Abfällen fest. Bei der Behandlung von Elektroaltgeräten steht dabei die Schadstoffentfrachtung im Vordergrund. Abfallbehandler sind demnach verpflichtet folgende Bestandteile aus Elektroaltgeräten vollständig zu entfernen:

- PCB-haltige Kondensatoren,
- quecksilberhaltige Bauteile, z.B. Schalter oder Lampen für Hintergrundbeleuchtung;

- Batterien und Akkumulatoren,
- Leiterplatten von Mobiltelefonen generell und von sonstigen Geräten, wenn die Oberfläche der Leiterplatte größer als 10 cm² ist,
- Tintencartridges, Tonerkartuschen für flüssige und pastöse Toner und für Farbtoner;
- Kunststoffe, die bromierte Flammschutzmittel enthalten;
- Asbestabfall und Bauteile, die Asbest enthalten,
- Bauteile, die feuerfeste Keramikfasern enthalten,
- externe elektrische Leitungen,
- Elektrolytkondensatoren mit einer Höhe und einem Durchmesser über 25 mm und solche mit einem vergleichbaren Volumen,
- Fotoleitertrommeln;

Diese Aufzählung enthält nur jene Vorschriften, die für Elektrokleingeräte relevant sind.

Der Schadstoffentfrachtung kommt deswegen besondere Bedeutung zu, da es gemäß der Verordnung nicht zulässig ist, nicht schadstoffentfrachtete Elektroaltgeräte mechanisch zu zerkleinern, z.B. zu schreddern:

„wenn durch die Behandlung nicht ausgeschlossen werden kann, dass dadurch eine Freisetzung umweltrelevanter Stoffe erfolgt“ [39, §13].

Der Querstromzerspaner kommt dieser Anforderung nach, da er einzelne Baugruppen und Bestandteile wie Batterien und Kondensatoren, nicht zerstört. Bestandteile, die der Beanspruchung im Querstromzerspaner nicht standhalten würden, dies sind in erster Linie Tonerkartuschen und Fotoleitertrommeln, werden bei der Vorsortierung bereits manuell aus den Geräten entfernt.

3.3.1 Kunststoffe und Holz

Aufgrund von Zusatzstoffen wie beispielsweise Flammhemmer in Bauteilen der Elektro- und Elektronikindustrie sind der Verwertung dieser Gehäusebestandteile folgende Grenzen gesetzt:

„Die stoffliche Verwertung von Kunststoff- und Holzgehäusen mit halogenierten oder schwermetallhaltigen Zusätzen, Imprägnierungen oder Lacken ist nur in jenen Fällen zulässig, in denen die jeweiligen Stoffe oder Zusätze auf Grund technischer Erfordernisse dem neuen Produkt zugesetzt werden müssen“ [39, §13].

Das von Elektroaltgeräten separierte Holz wird deshalb zur Gänze thermisch verwertet.

3.3.2 Batterien und Akkumulatoren

Blei-Akkumulatoren, Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren und Nickel-Cadmium-Akkumulatoren sind getrennt zu behandeln. Lithiumbatterien und -akkumulatoren sind ebenfalls getrennt zu erfassen, dürfen aber gemeinsam mit Zink-Kohle-Batterien, Alkali-Manganbatterien und Knopfzellen behandelt werden. Dabei sind

- aus Bleiakкумуляtoren: Blei, Kunststoff und Schwefelsäure,
- aus Nickel-Cadmium-Akkumulatoren: Cadmium und Nickel, und aus
- Lithiumbatterien und -akkumulatoren: Eisenschrott, Ferromangan und Quecksilber

wiederzugewinnen.

3.4 Abfallverbringungsverordnung [43]

Die Abfallverbringungsverordnung basiert auf dem Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle [44]. Ziel der Verordnung ist es, sowohl die Erzeugung als auch die Verbringung von gefährlichen Abfällen auf ein Mindestmaß zu beschränken und ihre umweltgerechte Behandlung im In- und Ausland sicherzustellen. Gemäß Basler Übereinkommen ist die Ausfuhr von Abfällen nicht zulässig,

„wenn der Ausfuhrstaat nicht über die technische Fähigkeit und die notwendigen Anlagen, die Mittel oder die geeigneten Deponien verfügt, um die fraglichen Abfälle umweltgerecht und wirksam zu entsorgen“ [44, Art. 4, 9a].

Werden Abfälle grenzüberschreitend verbracht, muss dies von der Behörde im Ausfuhrstaat gemeldet und vom Einfuhrstaat und auch allen Durchfuhrstaaten bestätigt werden. Elektroschrott gehört zu jenen Abfällen, deren Ausfuhr in Länder, für die der OECD-Beschluss [45] nicht gilt, prinzipiell verboten ist. Der OECD-Beschluss schreibt je nach Gefährlichkeit verschiedene Kontrollverfahren für bestimmte Abfallarten vor und gilt naturgemäß in allen 34 Mitgliedstaaten der OECD. Trotz dieser gesetzlichen Regelungen und internationalen Beschlüsse kommt es nach wie vor zu illegalen Abfallexporten, siehe dazu Abschnitt 4.1.

3.5 Abfallverzeichnisverordnung [46]

In der Abfallverzeichnisverordnung sind sämtliche Abfälle sechsstelligen Abfallcodes zugeordnet. Sie enthält Hinweise über die Zuordnung von Abfällen, z.B. Kriterien für die Einstufung als gefährlicher Abfall. Gefährliche Abfälle sind zusätzlich zur Schlüsselnummer mit einem Asterisk (*) gekennzeichnet. Die in der EAG-Behandlungsanlage Unterpremstätten anfallenden gefährlichen Abfälle sind jene Fraktionen und Teile von Fraktionen, die gemäß Abfallbehandlungspflichtenverordnung aus EAG entfernt werden müssen. Sie sind in Abschnitt 3.3 taxativ aufgelistet. EAG sind per se kein gefährlicher Abfall, da sie jedoch meist als gefährlicher Abfall geltende Stoffe und Bauteile enthalten, sind sie zu einem großen Teil gefährlicher Abfall. Deswegen kommt der Schadstoffentfrachtung besonderes Augenmerk zu.

Die Abfallverzeichnisverordnung enthält damit sowohl Bestimmungen und Anlagen, die vormals in der Festsetzungsverordnung verankert waren, als auch Überschneidungen mit eben dieser.

3.6 Festsetzungsverordnung [47]

Die Festsetzungsverordnung regelt in erster Linie, welche Abfälle als gefährliche Abfälle bzw. als Problemstoffe im Sinne des Abfallwirtschaftsgesetzes gelten. Des Weiteren enthält sie die Möglichkeit der Ausstufung gefährlicher Abfälle (Nachweis der Nichtgefährlichkeit eines an sich gefährlichen Abfalls durch den Abfallbesitzer) und das Verfahren dazu. Die Festsetzungsverordnung wurde bis auf die Ausstufung durch die Abfallverzeichnisverordnung ersetzt.

3.7 Abfallnachweisverordnung [48]

Die Abfallnachweisverordnung legt Art und Form der Aufzeichnungen, Meldungen und Nachweisführungen fest. Für gefährliche Abfälle besteht die Begleitscheinpflicht, die der Nachvollziehbarkeit des Verbleibs gefährlicher Abfälle dient. Wird gefährlicher Abfall weitergegeben, sind Art, Menge, Herkunft und Verbleib des Abfalls auf dem Begleitschein einzutragen. In der Folge begleitet dieser Schein die Abfälle vom Entstehungsort bis zu ihrer endgültigen Destination. So wird verhindert, dass diese Abfälle illegal deponiert oder exportiert werden. Begleitscheinpflichtig sind Leiterplatten, Batterien, Kondensatoren und EAG.

3.8 Batterienverordnung [28]

Die Batterienverordnung ist die österreichische Umsetzung der EU-Richtlinie 2006/66/EG (Richtlinie über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Alttakkumulatoren) [49] und strebt eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Batterien an, insbesondere durch die Beschränkung der Verwendung von gefährlichen Stoffen. Außerdem steht wie in allen abfallrechtlichen Verordnungen die Vermeidung von Abfällen an vorderster Stelle, und dahinter, wenn die Vermeidung von Abfällen nicht möglich ist, eine weitestmögliche stoffliche Verwertung.

Als großes Ziel der Batterienverordnung ist die getrennte Sammlung von Altbatterien zu nennen. Hierfür sieht die Verordnung Sammelquoten vor, und zwar 25% der in Verkehr gesetzten Masse bis September 2012, und 45% bis September 2016.

Es werden folgende Arten von Batterien unterschieden:

- Knopfzellen,
- Fahrzeugbatterien,
- Industriebatterien (Batterien oder Akkumulatoren, die für industrielle oder gewerbliche Zwecke oder für Elektrofahrzeuge jeder Art bestimmt sind);

Im Sinne der Beschränkung gefährlicher Stoffe, ist es verboten Batterien, die mehr als 0,0005% Quecksilber enthalten und Gerätebatterien, die mehr als 0,002% Cadmium enthalten, in Verkehr zu setzen.

Ebenso wie die Elektroaltgeräteverordnung enthält die Batterienverordnung eine Herstellerverpflichtung. Dies umfasst die Behandlung nach dem Stand der Technik, die Rücknahmeverpflichtung, flächendeckende Sammlung, Dokumentationspflichten, Kennzeichnungspflichten sowie folgende stoffliche Verwertungsquoten:

- Blei-Säure-Batterien: 65%,
- Nickel-Cadmium-Batterien: 75%,
- Sonstige Altbatterien: 50%.

Zudem haben Hersteller von Elektrogeräten diese so zu entwerfen, dass Gerätebatterien problemlos entfernt werden können.

3.9 Abfallverbrennungsverordnung [50]

Die Abfallverbrennungsverordnung regelt sowohl die Verbrennung als auch die Mitverbrennung von Abfällen. Dabei soll die entstandene Energie möglichst effizient eingesetzt werden, Emissionen und die Verlagerung von in Abfällen enthaltenen Schadstoffen, insbesondere Schwermetallen, in das Produkt vermieden werden. Zu diesem Zweck enthält die Verordnung Grenzwerte für den Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoffe (Mitverbrennung) und zwar für folgende Stoffe: Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg).

3.10 Deponieverordnung [51]

Seit 2004 ist die Deponierung unbehandelter Abfälle verboten. Auch für behandelte Abfälle besteht ein Verbot der Deponierung, wenn diese Abfälle einen Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) von mehr als 5% oder einen Brennwert von über 6.600 kJ/kg Trockensubstanz aufweisen. Des Weiteren enthält die Verordnung je nach Deponieklasse Grenzwerte für die Deponierung. Wichtig dabei ist die Unterscheidung zwischen Feststoffgehalt (Gesamtgehalt) und Gehalt im Eluat. Für die Annahme auf einer Reststoffdeponie beispielsweise schreibt die Verordnung die in Tabelle 4 aufgelisteten sieben Grenzwerte für den Feststoffgehalt vor, während bei den Eluatgehalten 29 Grenzwerte eingehalten werden müssen. Für die Annahme auf einer Massenabfalldéponie gelten 24 einzuhaltende Eluatgehalte. Aufgrund des Umfangs der Parameter für die Elution und weil im Zuge dieser Arbeit nur Feststoffgehalte bestimmt werden, zeigt Tabelle 4 nur die Grenzwerte der Feststoffgehalte.

Tabelle 4: Gehalte für die Annahme auf einer Massenabfalldeponie und auf einer Reststoffdeponie in mg/kg Trockensubstanz

Gehalte im Feststoff			
Reststoffdeponie			
<i>Anorganische Stoffe</i>		<i>Organische Summenparameter</i>	
Arsen	5 000	TOC	50 000
Cadmium	5 000	Kohlenwasserstoff-Index	5 000
Quecksilber	20	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	300
		Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX)	6
Massenabfalldeponie			
<i>Anorganische Stoffe</i>		<i>Organische Summenparameter</i>	
Arsen	500	TOC	50 000
Cadmium	30	Kohlenwasserstoff-Index	20 000
Quecksilber	20	Freisetzbare organische Halogene (POX)	1 000
Barium	10 000	PAK	300
Blei	5 000	BTEX	6
Chrom	8 000		
Kobalt	500		
Kupfer	5 000		
Nickel	2 000		
Silber	100		
Zink	5 000		

Im Allgemeinen gelten für die Reststoffdeponie höhere Grenzwerte als für die Massenabfalldeponie.

Mit der Vorschreibung von Eluatgehalten wurde versucht, der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Auslaugbarkeit von Schadstoffen einen größeren Einfluss auf die von einer Deponie im Laufe der Zeit freigesetzten Schadstoffmengen hat als die tatsächlichen Schadstoffinhalte. Kritisiert wird nebst des Umfangs und der Komplexität der Verordnung (140 Seiten), dass die Eluatgehalten mittels Wasserlaugung bestimmt werden, d.h. bei pH 7, obwohl in einer Deponie i.A. ein saures Milieu herrscht.

4 Elektroaltgerätebehandlung

Die Behandlungswege Vermeidung, Wiederverwendung, Verwertung und Beseitigung von EAG werden in diesem Abschnitt einzeln beleuchtet, und zwar entsprechend ihrer Hierarchie im Abfallwirtschaftsgesetz.

4.1 Abfallvermeidung und Vorbereitung zur Wiederverwendung

Die direkte Wiederverwendung von Elektrogeräten entspricht der quantitativen Abfallvermeidung, da das Gerät nicht zu Abfall geworden ist. Bei der Vorbereitung zur Wiederverwendung ist die Sache, solange sie nicht instandgesetzt ist, Abfall; ab dem Zeitpunkt, zu dem die Sache die technischen Anforderungen eines Produkts erfüllt und ein Markt dafür existiert, kann das Ende der Abfalleigenschaft festgestellt werden. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 18 dargestellt. [52]

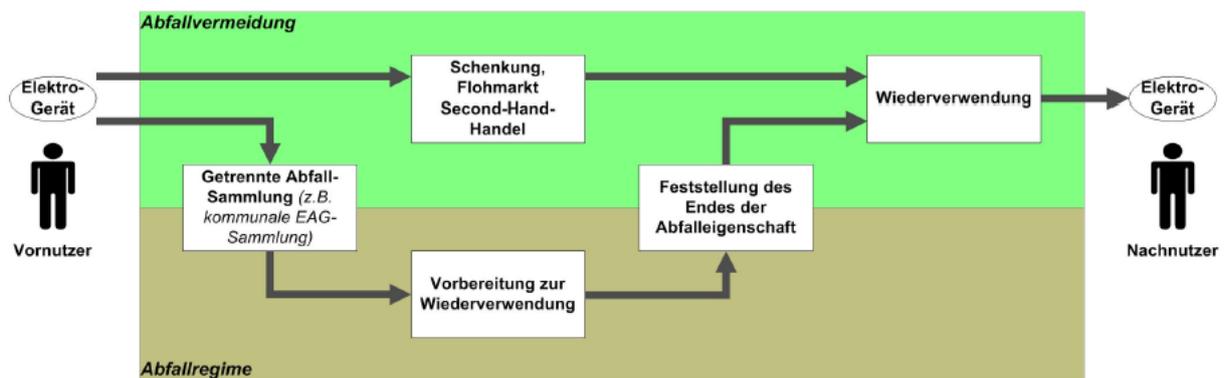


Abbildung 18: Ein- und Austritt aus dem Abfallregime bei Wiederverwendung [52]

Obwohl die Förderung von Maßnahmen zur Wiederverwendung in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie und im österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz verankert ist, handeln weniger als 10% von rund 880 Unternehmen, die in Österreich in der Second-Hand-Branche vertreten sind, mit gebrauchten Elektrogeräten. Hinzu kommt, dass die der Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle übermittelten Daten trotz Meldepflicht unzureichend sind und der Internetverkauf über ebay und willhaben beispielsweise gar nicht erfasst wird. Auch Händler, die Unternehmen ihre ausgemusterte EDV-Ausrüstung abkaufen und danach exportieren sind nicht bilanziert. [52] Die Dunkelziffer der nach Ghana, Nigeria und in andere Länder exportierten Elektroaltgeräte ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Obwohl der Export von Elektroaltgeräten in Nicht-OECD-Länder verboten ist (siehe 3.4), werden Altgeräte oft als Second-Hand-Produkte deklariert und so verkauft. Jährlich landen so etwa 8,7 Millionen Tonnen Elektromüll aus Europa in Afrika oder Asien, wo sie ob mangelnder gesetzlicher Regelungen bzw. fehlender gesetzlicher Implementierung unsachgemäß entsorgt werden [53]. Um die Metalle zu gewinnen wird z.B. Kabelschrott offen abgebrannt wie in Abbildung 19 zu sehen ist.



Abbildung 19: Kupfergewinnung durch das Abbrennen von Kabeln in Ghana [54]

Das Problem im Wiederverwendungssektor ist, dass Geräte, die wiederverwendet werden oft gar nicht in den Abfallbereich hineinkommen, da Altwarenhandel und Second-Hand-Shops nicht abfallwirtschaftlichen Regelungen unterliegen und auch nicht das nötige KnowHow besitzen, um sich mit abfallrechtlichen Bestimmungen auseinanderzusetzen. Zudem fehlt es oft an Reparatur- und Instandsetzungscompetenz; die Geräte werden ohne Gewährleistung weitergegeben. Reparateure wiederum sind wenig bis gar nicht mit Abfallwirtschaftszentren oder Altwarenhändlern vernetzt; oft stehen sozialwirtschaftliche Aspekte im Vordergrund wie die Beschäftigung und Integration von Langzeitarbeitslosen. Abbildung 20 stellt das Problem der Vernetzung der verschiedenen Akteure dar.

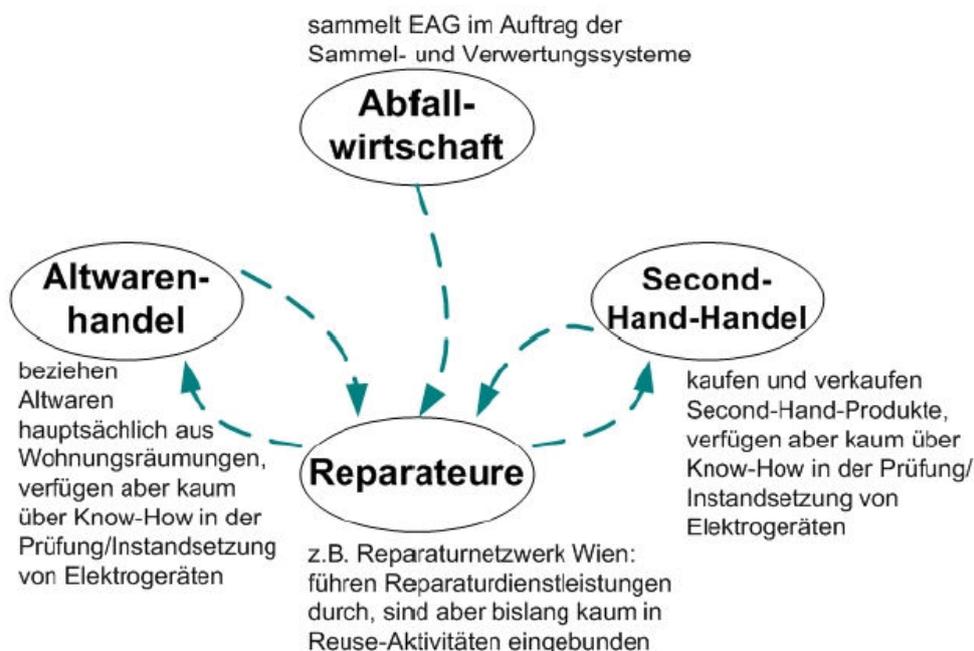


Abbildung 20: Akteure und potentielle Vernetzungen im Second-Hand-Bereich [52]

Trotz diverser Initiativen und regionaler Projekte wie z.B. EcoNet-Austria, Revital in Oberösterreich und dem Reparatur- und Servicezentrum in Wien, wurden laut Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle 2008 nur 830 t Elektrogeräte offiziell wiederverwendet [55]. 2008 initiierte das Reparaturnetzwerk Österreich (RepaNet) gemeinsam mit dem

Lebensministerium 2008 die ReUse-Plattform. Sie dient als Netzwerk für die diversen Akteure des Wiederverwendungssektors. Die Aufgaben aller Beteiligten wurden im ReUse-Leitfaden [37] erarbeitet. Sie umfassen Schulung von Reparaturpersonal, Entwicklung eines Gütesiegels für den ReUse-Bereich, Zusammenarbeit mit Sammel- und Verwertungssystemen, Öffentlichkeitsarbeit u.v.m.

Zu einem geringen Prozentsatz landen Elektroaltgeräte auch in der Kreativindustrie. In der Trash Design Manufaktur in Wien beispielsweise werden aus Abfällen Schmuck, Taschen und andere Konsumprodukte hergestellt. Abbildung 21 zeigt zwei Taschen, die aus Waschmaschinentrommeln gefertigt wurden.



Abbildung 21: Taschen aus EAG [56]

Der Anteil dieser kreativ genutzten Elektroaltgeräte ist jedoch leider äußerst gering.

4.2 Stoffliche Verwertung – Recycling

Die Elektroaltgeräteverordnung schreibt eine stoffliche Verwertungsquote von zumindest 50% für Elektrokleingeräte vor. Auf die Wiedergewinnungsraten der in den entnommenen Schadstofffraktionen (Batterien, Akkumulatoren, Kondensatoren) enthaltenen Metalle wie Blei, Cadmium, Gold und anderen Edelmetallen wurde bereits in Abschnitt 2.4.1 eingegangen. Da Elektrokleingeräte im Durchschnitt etwa 40% Metalle enthalten, verpflichtet die 50%-Quote die Entsorger, auch die Kunststoffe zu recyceln. Elektroaltgeräte enthalten eine Vielzahl verschiedener Kunststoffspezies. Abbildung 22 zeigt die Zusammensetzung der hellen Kunststoffe der EAG-Aufbereitungsanlage in Unterpremstätten. Mit der Trennung von Polystyrol (PS), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und Polypropylen (PP) könnten bereits über 50% der Kunststoffe erfasst werden.

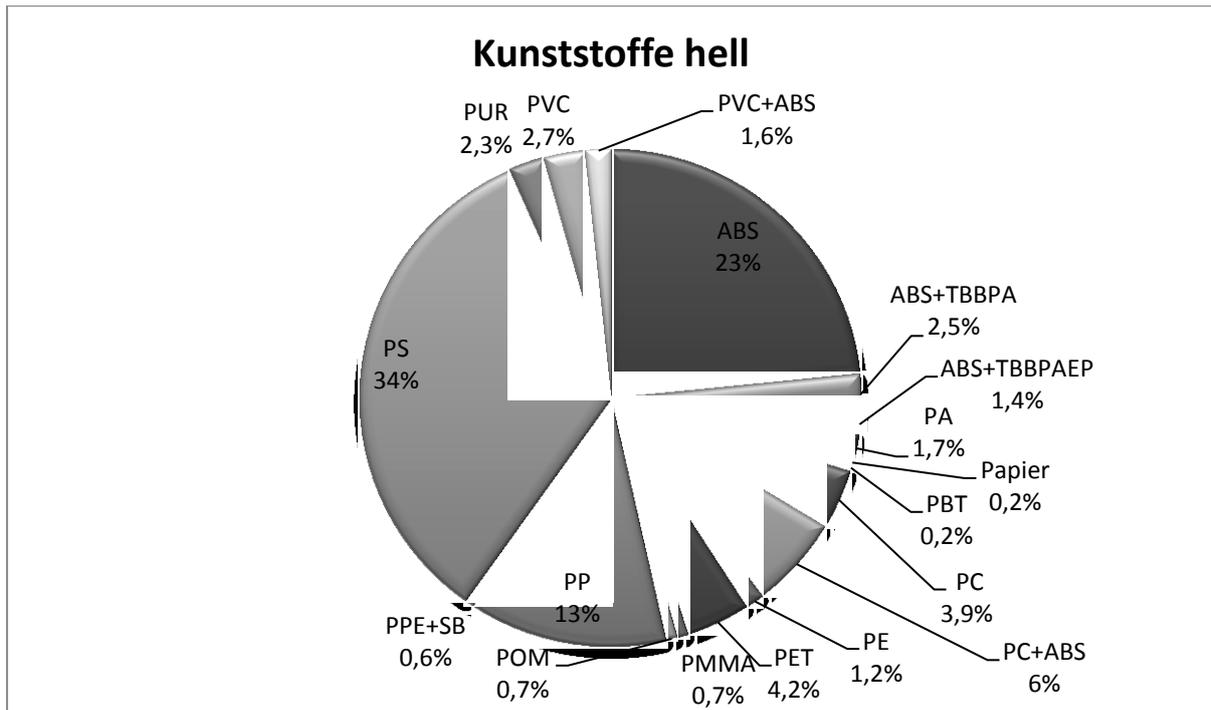


Abbildung 22: Zusammensetzung Kunststoffe aus KEAG [57]

Voraussetzung für erfolgreiches Kunststoffrecycling ist die sortenreine Trennung des Materials. Mechanische Eigenschaften wie Korngröße oder Dichte können erst nach vorhergehenden Aufbereitungsschritten angewendet werden, da die Zusammensetzung, die Größe und damit auch Dichte und Korngröße von Elektrogeräten sehr variabel ist. Eine Alternative zur manuellen Sortierung stellt die sensorgestützte Sortierung dar. Sie unterscheidet folgende Merkmale [58]:

- Form und Größe durch Bildanalyse,
- Kunststoffspezies durch Nahinfrarotspektroskopie,
- Metalle durch Metallsensoren,
- Verhältnis von organischen (Kunststoffe, Textilien, Holz) zu anorganischen (Metalle, Glas, Keramik) Materialien durch Röntgensensoren;

Die Erkennung von verschiedenen Kunststoffspezies in der Nahinfrarotspektroskopie ist jedoch limitiert auf nicht vollständig absorbierende Materialien. Somit werden 35% aller Gehäuse nicht erkannt, weil sie schwarz sind. [58] Auch stark verschmutzte Teile werden nicht erkannt. Im Gegensatz dazu dient bei der Röntgensortierung die atomare Zusammensetzung als Trenneigenschaft. So können sowohl verschmutzte Materialien als auch chlorhaltige Kunststoffe sortiert werden [59]. Die Unterscheidung verschiedener Kunststoffspezies ist jedoch trotzdem nicht bei allen Kunststoffen möglich, da beispielsweise Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) sich in ihrer atomaren Zusammensetzung nicht unterscheiden.

Da Kunststoffe nicht nur chlorierte, sondern auch bromierte und andere Flammschutzmittel wie z.B. Antimontrioxid enthalten, wurde die Eignung der Röntgenfluoreszenzanalyse zur

Gewinnung einer hochwertigen, stofflichen verwertbaren Kunststofffraktion untersucht. Es konnten Kunststoffe gewonnen werden, die nicht nur unter dem Grenzwert der RoHS-Richtlinie lagen, was Flammschutzmittel (Sb und Br) betrifft, sondern auch bei den anderen relevanten Elementen der RoHS-Richtlinie Chrom, Cadmium, Blei und Quecksilber unter dem jeweiligen Grenzwert lagen. Die flammenschutzmittelarme Fraktion, die 70 bis 90% des Ursprungsmaterials ausmachte, wurde außerdem auf ihre Qualität als Sekundärrohstoff untersucht. Melt Flow Index, Schlag- und Zugeigenschaften entsprachen der jeweiligen Norm. [60]

Durch den CreaSolv®-Prozess, einem lösemittelbasierten Kunststoffrecyclingverfahren konnten aus der Mischkunststofffraktion von mehreren EAG-Aufbereitungsanlagen ebenfalls sortenreine, schadstoffarme und qualitativ hochwertige Recyclate gewonnen werden. [61]

Weitere Kunststoffaufbereitungsmöglichkeiten umfassen Friktionswäsche, Schwimm/Sinktrennung, Sortierung mittels Nassstoßherd, mechanische und thermische Trocknung sowie Entstaubung.

2006 wurde in Österreich die erste Aufbereitungsanlage für Kunststoffe aus EAG in Betrieb genommen. Die MBA Polymers Austria Kunststoffverarbeitung GmbH produziert Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), Polystyrol (PS) und Polypropylen (PP). Daneben werden eine Mischkunststofffraktion für die thermische Verwertung sowie eine minderwertige Kunststofffraktion, die thermisch beseitigt wird, erzeugt. Die Trennung erfolgt rein mechanisch. [15]

Neben der Erzeugung von Kunststoffrecyclaten können Kunststoffe auch zur Produktion von Synthesegas durch Vergasung oder als Reduktionsmittel im Hochofen verwertet werden. [62]

Tabelle 5 zeigt einen Querschnitt über die bei der KEAG-Aufbereitung entstehenden Wertfraktionen und ihre Weiterbehandlung von über 30 EAG-Behandlungsanlagen in Österreich.

Tabelle 5: Behandlungswege von Fraktionen der KEAG-Aufbereitung [15]

KEAG-Behandlung in Österreich	
Fraktion	Behandlungsweg
Eisenschrott	Metallaufbereitung, Shredder, Stahlwerk
Eisen-Kupfer-Verbunde	Zerkleinerung, Separation, Feinshredder, Metallhütte
Aluminium	Metallaufbereitung, Aluminiumschmelze
Misch-Metall-Schrott	Zerkleinerung, Separation, Großshredder, Metallhütte
Papier	Papierrecycling, thermische Verwertung
Kunststoff dunkel	Verdichtung, Kunststoffkonditionierung (Ausland), Recycling

Kunststoff hell	Verdichtung, Kunststoffkonditionierung (Ausland), Recycling
Mischkunststoff	Thermische Behandlung in Hausmüllverbrennungsanlage oder Separierung, Recycling
Holz	Altholzaufbereitung, Mitverbrennung
Leiterplatten	Entstückung oder Zerkleinerung, Separation, Feinshredder, Metallhütte oder Chemieproduktion
Kabel	Zerkleinerung, Separation, Feinshredder, Metallhütte
Batterien	Sortierung, Batterierecycling
Kondensatoren	Thermische Behandlung in Verbrennungsanlage für gefährliche Abfälle
Bleiakkumulatoren	Entleerung und Separation
Tonerkartuschen	Wiederbefüllung oder Verbrennung in Verbrennungsanlage für gefährliche Abfälle
Wärmeträgeröl	Altölverwertung, Mitverbrennung Zementindustrie oder Redestillation
Asbestabfälle und -bauteile	Deponierung im Ausland
Betonblöcke aus Waschmaschinen	Betonzuschlagsstoff
Bauteile (z.B. Schalter, PC-Stecker, Kondensatoren, Chips)	Weitergabe an Elektronikfirma (Kleinstmengen)
Restfraktion	Thermische Behandlung in Hausmüllverbrennungsanlage, Verbrennungsanlage für gefährliche Abfälle oder Deponierung, Splittinganlage, Mechanisch biologische Behandlung

Dazu ist zu sagen, dass die Behandlungsanlagen teilweise rein manuell arbeiten und teilweise vollautomatisiert, wodurch die Behandlungswege stark beeinflusst werden. Nur von den rein manuellen Demontagebetrieben werden ganze Bauteile zur Wiederverwendung weitergegeben. Die Restfraktion eignet sich nur unter besonderen Umständen für die Deponierung, und zwar entweder nach rein händischer Demontage oder nach vielen Zerkleinerungs- und Separationsschritten. Bei einer rein manuellen Sortierung kommt es zu keiner Vermischung, womit eine hohe Qualität der Reststoffe gewährleistet werden kann. Diese Qualität kann sonst nur durch mehrere aufeinanderfolgende Aufbereitungsschritte erreicht werden.

Interessant ist, dass nur ein Betrieb die Betonblöcke aus Waschmaschinen an die Zementindustrie weiterleitet und dieser sonst eher unbeachteten bis unerwünschten Fraktion zu einer Verwertung verhilft. Diese sehr massiven Blöcke durchlaufen die Anlagen oft

unbeschadet und steigern dann den Aufbereitungs- bzw. Zerkleinerungsaufwand für die Restfraktion.

Tabelle 6 stellt die 2010 erreichten Verwertungsquoten den Vorgaben der EAG-Verordnung gegenüber.

Tabelle 6: Verwertungs- und Wiederverwendungsquoten KEAG in Österreich 2010 [1]

KEAG-Behandlung in Österreich		
	Vorgabe EAG-Verordnung [%]	Erreichter Anteil [%]
Wiederverwendung und stoffliche Verwertung	50	74
Verwertung (thermisch)	70	88 (14)
Beseitigung		12
Export		0,1

In Österreich werden sämtliche Quoten erfüllt.

4.3 Thermische Verwertung

Die in Elektrokleingeräten enthaltenen Stoffe lassen sich mithilfe verschiedener Aufbereitungs- und Sortieraggregate durchaus zurückgewinnen. Steht bei der stofflichen Verwertung die Rückgewinnung der Metalle im Vordergrund, so bietet sich für die thermische Verwertung v.a. die Kunststofffraktion an.

Neben den Gehäusekunststoffen fallen bei der weitergehenden Aufbereitung auch Kunststoffe bei der Kabelaufbereitung, der Leiterplattenaufbereitung und beim Batterierecycling an. Hinzu kommt die schadstoffangereicherte Restfraktion aus der Kunststoffaufbereitung, die aufgrund des Vermischungsverbots (siehe Abschnitt 3.1) nicht stofflich verwertet werden kann. Kunststoffe können in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet werden oder in Kraftwerksanlagen oder Kesselanlagen z.B. der Zementindustrie mitverbrannt werden. Je nach Art der Anlage sind sowohl die Schadstoffgehalte für den Abfall selbst als auch die Grenzwerte für die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen der Abfallverbrennungsverordnung (siehe Abschnitt 3.9) einzuhalten.

4.4 Thermische Beseitigung

Steht nicht die Ausnutzung des Energieinhaltes im Vordergrund, sondern die Abfallbeseitigung, handelt es sich um eine thermische Beseitigung. Sie ist in Ermangelung einer Untertagedeponie die einzige Möglichkeit gefährliche Abfälle in Österreich zu behandeln. Kondensatoren, nicht wiederbefüllbare Tonerkartuschen und schadstoffangereicherte Restfraktionen aus den verschiedenen EAG-Aufbereitungsschritten werden in Österreich nach wie vor thermisch beseitigt.

4.5 Anlagenbeschreibung

Die Elektrokleingerätebehandlungsanlage in Unterpremstätten besteht aus den Prozessen manuelle Vorsortierung, Aufschluss mittels Querstromzerspaner (QZ), Siebung, Magnetscheidung und manuelle Sortierung. Ein Schema der Anlage ist in Abbildung 23 ersichtlich.

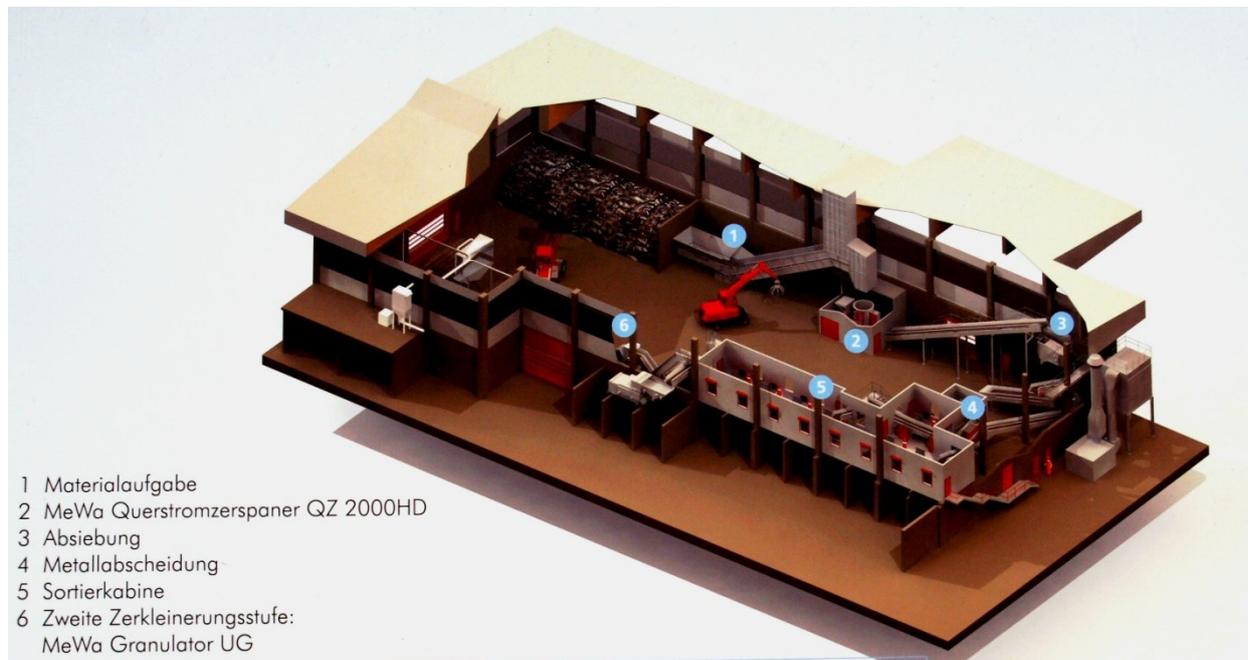


Abbildung 23: Elektrokleingerätebehandlungsanlage, 6 (Zweite Zerkleinerungsstufe) in Planung

Bis zum vierten Quartal 2011, d.h. während der Erstellung dieser Arbeit, wurden die Abfälle am Boden der Halle vorsortiert. Diese Bodensortierung ist einer Vorsortierung in einer Sortierkabine gewichen, die sich jetzt zwischen Materialaufgabe und QZ befindet (zwischen 1 und 2 in Abbildung 23). Die in der vorliegenden Arbeit erstellte Stoffstromanalyse bezieht sich auf die ursprüngliche Verfahrensweise mit der Bodensortierung wie sie in Abbildung 24 dargestellt ist.



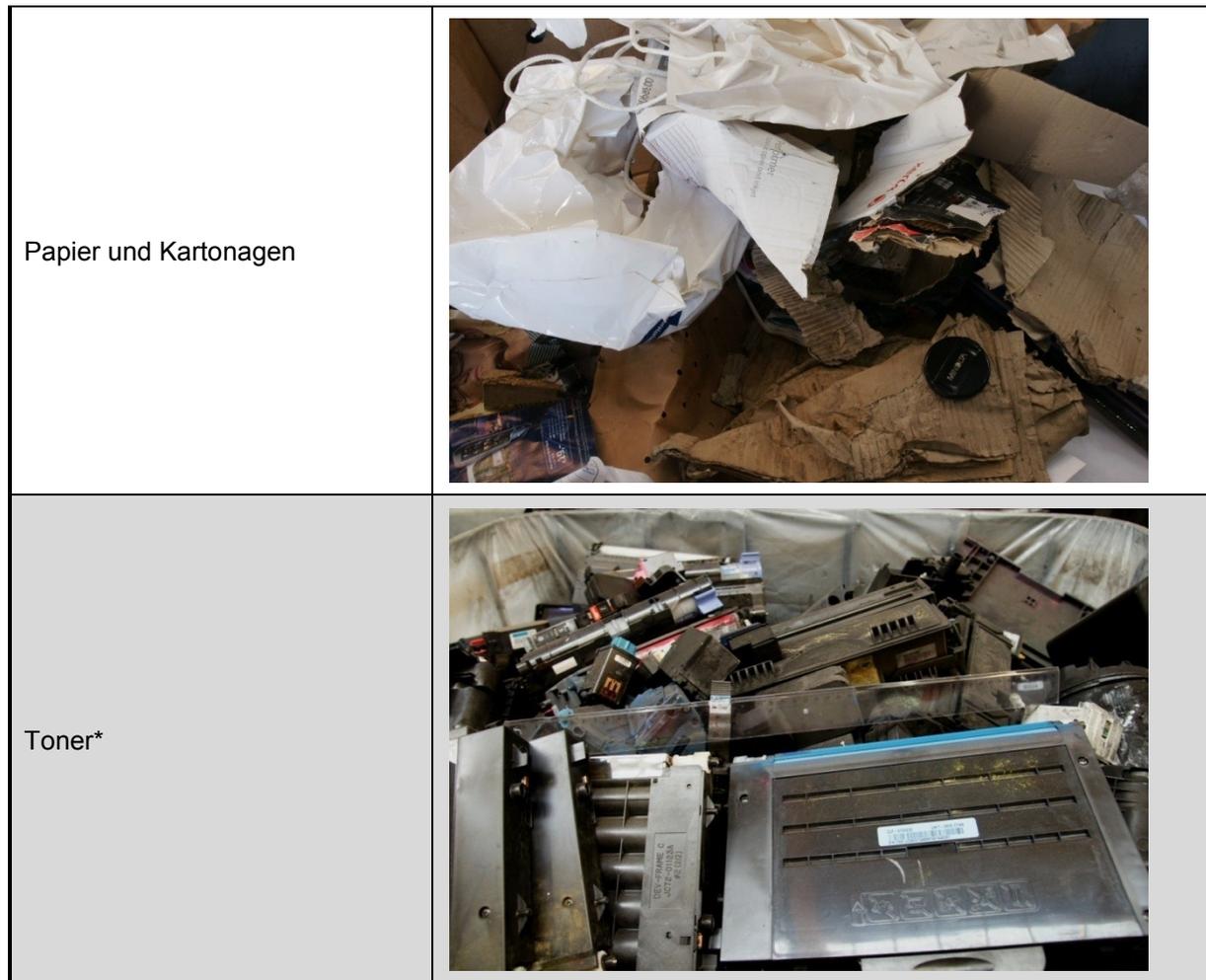
Abbildung 24: Vorsortierung am Boden der Halle

Bei der Vorsortierung werden gefährliche Stoffe wie beispielsweise Gasflaschen und Störstoffe wie Radiatoren oder große Holzteile entfernt. Außerdem werden Kabel, Schläuche von Staubsaugern und andere Kunststoffe abgetrennt. Dieses Material wird eingeteilt in Kunststoffe für die stoffliche Verwertung und Kunststoffe für die thermische Verwertung. Auch Toner werden bereits in dieser Stufe entnommen, da sie bereits durch geringe mechanische Einwirkung zerstört würden. Ohne diese Schadstoffentfrachtung könnte es durch die Beanspruchung im nachfolgenden Querstromzersetzer zu einer Freisetzung umweltrelevanter Stoffe kommen, was gemäß Abfallbehandlungspflichtenverordnung [39] nicht zulässig wäre. Die bei der Vorsortierung gewonnenen Fraktionen sind in Tabelle 7 abgebildet.

Tabelle 7: Outputfraktionen der Vorsortierung

Vorsortierung	
Fraktion	Beispiel
Kunststoffe stoffliche Verwertung	

<p>Kunststoffe thermische Verwertung</p>	
<p>Kabel</p>	
<p>Holz*</p>	



* Fraktion mit 40 cm Kunststofflineal

Nach der Vorsortierung findet der Aufschluss mittels Querstromzerspaner statt. Ziel ist die weitestgehende Zerlegung der Geräte bei gleichzeitigem Erhalt einzelner Bauteile. Der Zerkleinerungsgrad kann über die Verweilzeit, die Drehzahl und die Härte und Länge der Kette gesteuert werden. Direkt nach dem Aufschluss erfolgt eine Siebung mit Siebdurchmesser 12 mm. Hier fällt eine Feinfraktion an wie sie in Tabelle 8 zu sehen ist.

Tabelle 8: Outputfraktion der Siebung

Siebung	
Fraktion	Beispiel
Feinfraktion (<12 mm)	

Durch einen Magnetscheider wird der Materialstrom in eine magnetische Fraktion und eine nicht magnetische Fraktion aufgeteilt. Es gibt demnach ein Sortierband magnetisch und ein Sortierband nichtmagnetisch. Vom Sortierband magnetisch werden zunächst Verbunde entfernt. Dazu zählen Metall-Leiterplatten-Verbunde ebenso wie mit Kunststoffen oder Metallen verhedderte Kabel wie in Tabelle 9 veranschaulicht. Obwohl ein Großteil dieser Verbunde keine Leiterplatten enthält, hat sich die Bezeichnung Metall-Leiterplatten-Verbunde eingebürgert und soll somit auch in dieser Arbeit verwendet werden. Diese Verbunde werden nicht deshalb herausgeholt, weil sie eine Wertfraktion sind, sondern weil sie die Reinheit der restlichen Fraktionen beeinträchtigen würden. Im nächsten Schritt werden Spulen und Transformatoren vom Band geklaubt, die den sogenannten Kupferschrott bilden, da beide einen Verbund aus Eisen und Kupfer darstellen, der aufgrund des Kupfergehalts gewonnen wird. Da diese Fraktion aber erstens nur zu etwa einem Drittel aus Kupfer besteht und zweitens magnetisch ist, ist die Bezeichnung Eisen-Kupfer-Verbunde weniger irreführend und wird in der Folge auch in dieser Arbeit verwendet. Der Durchlauf des Sortierbands magnetisch ist der Eisenschrott.

Tabelle 9: Outputfraktionen der Sortierung des magnetischen Stoffstroms

Sortierung magnetische Fraktion	
Fraktion	Beispiel
Eisen-Kupfer-Verbunde*	
Metall-Leiterplatten-Verbunde*	
Eisenschrott*	

* Fraktion mit 40 cm Kunststofflineal

Am Sortierband nichtmagnetisch werden zu einem geringen Anteil noch Restschadstoffe wie Batterien und Kondensatoren entfernt. Auch Restmüll bzw. Gewerbemüll (Schuhe, Folien, Schaumstoff etc.) wird aussortiert. Hauptsächlich werden hier jedoch die Wertfraktionen Nirosta-Stahl, Leiterplatten und Aluminium gewonnen. Der Überlauf des Sortierbandes

nichtmagnetisch bildet den Durchlauf der Anlage. Tabelle 10 zeigt die nichtmagnetischen Fraktionen der Anlage.

Tabelle 10: Outputfraktionen der Sortierung des nichtmagnetischen Stoffstroms

Sortierung nichtmagnetische Fraktion	
Fraktion	Beispiel
Batterien, Kondensatoren, Akkumulatoren*	
Gewerbemüll	
Leiterplatten*	

Aluminium	
Nirosta-Stahl	
Durchlauf (Überlauf)*	

* Fraktion mit 40 cm langem Kunststofflineal

Zum Output der EAG-Behandlungsanlage gehören rund 20 verschiedene Fraktionen, auf deren Mengen und Inhalt in Kapitel 5 näher eingegangen wird.

5 Charakterisierung der Abfälle

In diesem Kapitel wird eine Abfalluntersuchung, wie sie für die Erstellung einer Stoffstromanalyse notwendig ist, durchgeführt. Dazu gehören Probenahmen, Sortierungen und Siebungen sowie Laboranalysen. Die Gliederung entspricht der Chronologie der Untersuchung.

5.1 Probenahme

Die Probenahme wurde gemäß ÖNORM EN 14899 [63] durchgeführt. In Abbildung 25 ist der Ablauf einer Abfallcharakterisierung schematisch dargestellt. Im Folgenden soll auf die einzelnen Punkte eingegangen werden.

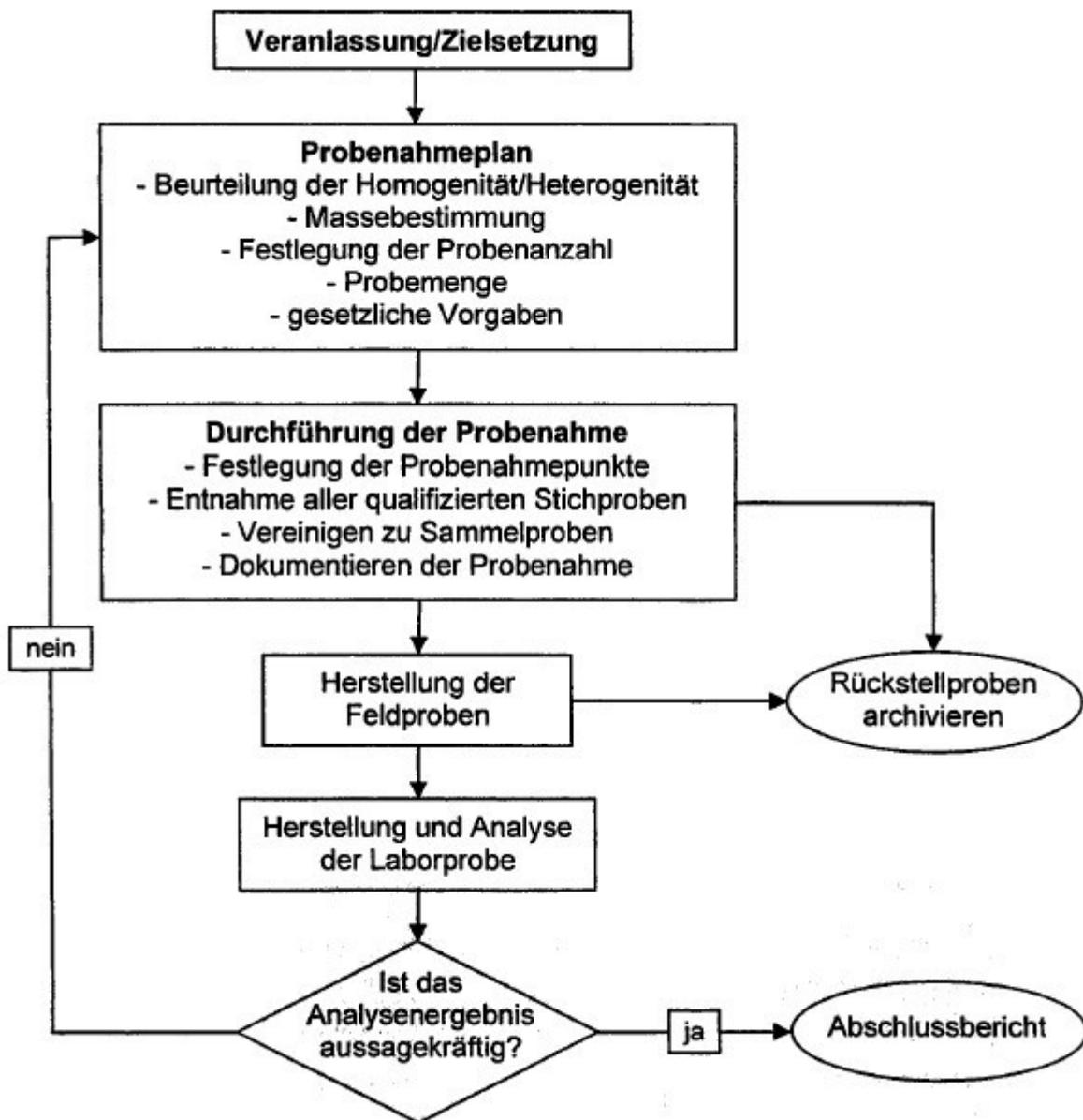


Abbildung 25: Ablauf einer Abfalluntersuchung [63]

5.1.1 Veranlassung/ Zielsetzung

Ziel der Untersuchung war die genaue Bilanzierung der EAG-Behandlungsanlage, die Untersuchung der Stoffströme und die anschließende Beurteilung der Sortierleistung im Hinblick auf die gewonnenen Fraktionen.

5.1.2 Probenahmeplan

Die sortenreinen Fraktionen (Kunststoffe, Aluminium, Eisen, Leiterplatten, Stahl, Kabel) können als in sich homogen betrachtet werden, obwohl zum Teil auch hier Materialverbunde enthalten waren. Sie wurden keiner Laboranalyse unterzogen, da der Aufschluss technisch nicht möglich war oder mit unverhältnismäßig viel Aufwand verbunden wäre. Ihre Inhaltsstoffe wurden der Literatur und Angaben der nachfolgenden Verwerter entnommen.

Auch die Schadstoffe (Toner, Batterien, Kondensatoren, Akkus) wurden nicht im Labor untersucht, da ihre Zusammensetzungen als gut untersucht gelten und somit eigene Analysen nicht zielführend waren. Um bereits vorhandene Daten über den Massenanteil dieser Fraktionen aus den letzten Monaten zu verifizieren, wurden diese bei jeder Probenahme gewogen.

Jene beiden Fraktionen, die den höchsten Grad an Heterogenität aufweisen, nämlich Durchlauf und Feinfraktion, wurden gemäß ÖNORM S 2123-1 (Beprobung von Haufen) [64], respektive ÖNORM S 2123-3 (Beprobung fester Abfälle aus Stoffströmen) [65] untersucht. Dabei ist die Feinfraktion zwar in Bezug auf die Inhaltsstoffe heterogen, jedoch die Korngröße betreffend homogen, während der Durchlauf sowohl Materialien als auch die Korngröße betreffend, äußerst heterogen ist.

Der Durchlauf weist eine Korngröße von durchschnittlich mehr als 120 mm auf, was definitionsgemäß stückigen Abfall charakterisiert. Dieser ist somit nach ÖNORM S 2123-5 [66] zu beproben. Hierbei sind zunächst 20 qualifizierte Stichproben zu ziehen. Jede qualifizierte Stichprobe bestehe aus 6 bis 10 Stichproben. Die Probemenge für jede dieser Stichproben wird anhand der Korngröße bestimmt:

$$\text{Probemenge (kg)} = 0,06 \cdot \text{Größtkorn (mm)} \quad (1)$$

Wie in Abbildung 26 zu sehen ist, weist der Durchlauf sehr unterschiedliche Korngrößen auf. Obwohl sich Teile darunter befinden, die sogar 30 cm lang sind, wurde als Größtkorn 20 cm gewählt, da diese sehr langen, dünnen Teile eher die Ausnahme darstellten. Somit ergibt sich für die Probemenge:

$$\text{Probemenge} = 0,06 \cdot 200 = 12 \text{ kg} \quad (2)$$



Abbildung 26: Durchlauf mit 40 cm Kunststofflineal

Da die errechnete Probemenge 12 kg beträgt und für eine qualifizierte Stichprobe 6 bis 10 Proben gezogen werden müssen, besteht eine qualifizierte Stichprobe aus 72 bis 120 kg. Es sind 20 qualifizierte Stichproben herzustellen, d.h. die Gesamtprobemenge sollte zwischen 1.480 und 2.400 kg betragen.

Die Feinfraktion ist mit einer Korngröße unter 12 mm nach ÖNORM S 2123-3 [65] zu beproben. Demnach sind bei einer Abfallmasse von bis zu 50 t mindestens 10 qualifizierte Stichproben zu ziehen. Die Mindestprobenmenge ergibt sich wie beim Durchlauf aus der Formel

$$\text{Probemenge (kg)} = 0,06 \cdot \text{Größtkorn (mm)} \quad (3)$$

Sie sollte jedoch mindestens 2 kg betragen.

$$\text{Probemenge} = 0,06 \cdot 12 = 0,75 \text{ kg} \quad (4)$$

Somit ist die Probemenge beim Siebdurchlauf 2 kg bzw. insgesamt 20 kg.

5.1.3 Durchführung der Probenahme

Der Durchlauf fällt auf der Anlage kontinuierlich in einen Flachbunker, von wo er mittels Radlader weitertransportiert wird, wenn sich mehrere Tonnen angesammelt haben. Durch diese Haufenbildung direkt aus dem Abwurfschacht kommt es zu einer Entmischung. Leichte und große Teile bleiben eher an der Oberfläche, während kleine und schwere Teilchen in die Mitte sinken [67]. Dieses Phänomen der Entmischung tritt immer wieder auf, wenn das Material geschüttet wird, auch wenn der gesamte Haufen mit einem Radlader oder Bagger

neu vermischt wird. Um den Fehler aufgrund von Entmischung zu vermeiden wurde direkt aus dem fallenden Stoffstrom beprobt. Hierzu wurde die Radladerschaufel unter den Abwurfschacht gehalten wie in Abbildung 27 zu sehen ist.



Abbildung 27: Probenahme Durchlauf

Vor der Probenahme wurden die Boxen der anderen Fraktionen entleert oder entsprechende Behälter unter den jeweiligen Abwurfschächten platziert, siehe Abbildung 28.



Abbildung 28: Beprobung der Fraktionen Leiterplatten, Aluminium und Eisen

Innerhalb von zehn Minuten war eine Radladerschaufel gefüllt mit Durchlaufmaterial und die Probenahme wurde beendet. Im Durchschnitt wurden so 400 kg vom Durchlauf entnommen, die gesamte Probenmenge betrug jeweils ca. 1.000 kg. Es wurden alle Fraktionen gewogen. Durchlauf und Feinfraktion wurden für nähere Untersuchungen aufgehoben.

Nach vier Probenahmen zu je ca. 1.000 kg zeigte sich, wie in Abbildung 29 dargestellt, dass die Verteilung der Fraktionen annähernd homogen war und es wurde für die weitere

Vorgehensweise beschlossen, die gewichtsmäßigen Anteile aus den existierenden Jahresbilanzdaten zu entnehmen, auch aus der Tatsache heraus, dass der laufende Betrieb so nicht gestört wurde.

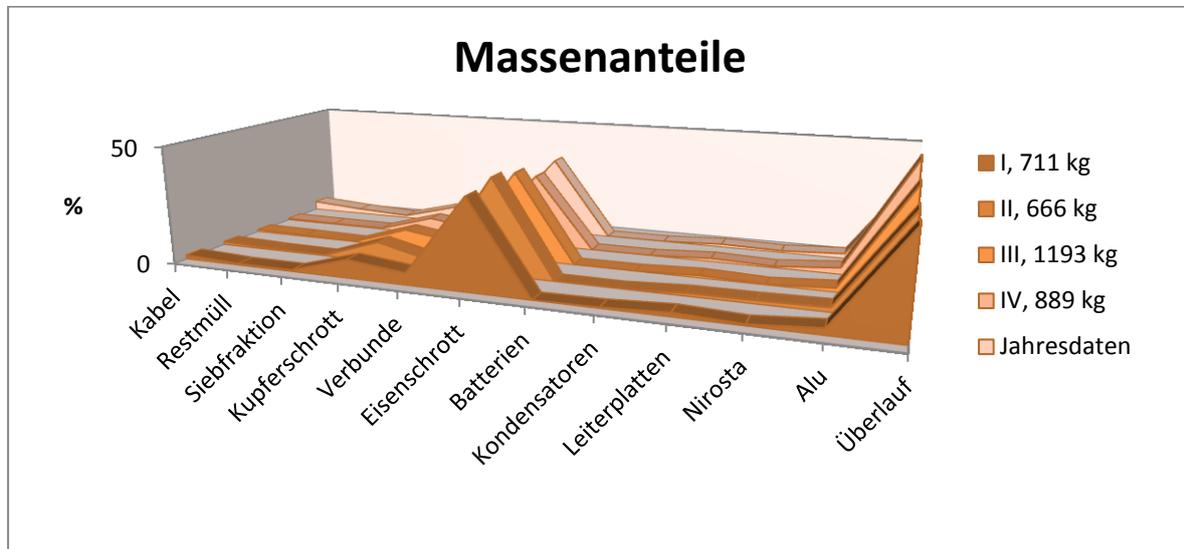


Abbildung 29: Massenanteile der Fraktionen Probenahmen I-IV und Vergleich mit den Jahresbilanzdaten

Um weitere, repräsentativere Proben für die Sortierung zu erhalten, wurden in weiterer Folge vom Durchlauf drei Mal 50 kg zu unterschiedlichen Zeiten in der Woche entnommen und zu einer 150 kg Probe vereint. Dies war nun möglich, da die Anlage während der Beprobung nicht abgeschaltet werden musste. So wurde zwei Wochen lang beprobt. In Tabelle 11 sind die sechs Probenahmen ersichtlich.

Tabelle 11: Probenahmen I bis VI

Probenahmen						
Probenahme	I [kg]	II [kg]	III [kg]	IV [kg]	V [kg]	VI [kg]
Gesamt	711	666	1193	889	-	-
Durchlaufmaterial	290	227	530	440	141	147

Wie bereits oben erwähnt, wurden nur bei den ersten vier Probenahmen alle Fraktionen beprobt, die Probenahmen V und VI dienten nur der Gewinnung von Durchlaufmaterial für die Sortierung.

Abbildung 30 zeigt eine Übersicht sämtlicher im Rahmen der Analyse erfolgter Schritte.

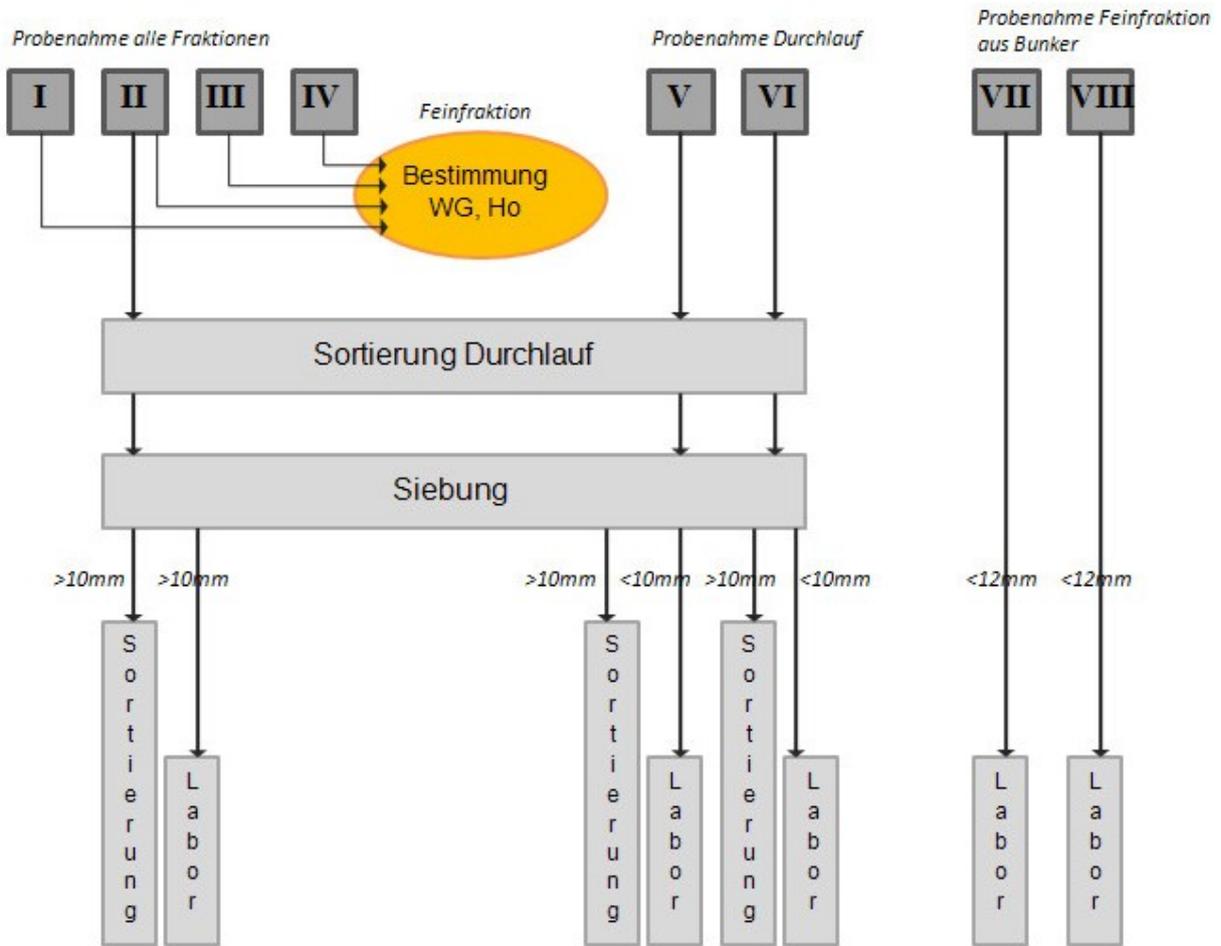


Abbildung 30: Übersicht Probenahmen und Analyseverfahren

5.2 Sortierung

Der Durchlauf wurde in 14 verschiedene Fraktionen sortiert wie sie in Tabelle 12 zu sehen sind.

Tabelle 12: Fraktionen der Sortierung



<p>Kunststoffe bunt</p> 	<p>Gefährlicher Abfall</p> 
<p>Leiterplatten</p> 	<p>Kabel</p> 
<p>Aluminium</p> 	<p>Eisen</p> 
<p>Kupfer</p> 	<p>Metall-Kunststoff-Verbunde</p> 



Die erste Probe, die sortiert wurde, bestand aus dem Durchlauf der Probe II und umfasste 227 kg, die auf ein Mal gezogen wurden. Proben V und VI bestanden aus je 3 mal 50 kg Einzelproben. Bei der ersten Probe fielen über 100 kg Sortierrest an, bei der Probe V waren es nur 12 kg und bei Probe VI 50 kg. Die Ergebnisse dieser Grobsortierung sind in Abbildung 31 dargestellt.

Es wurde zwischen hellen, dunklen und bunten Kunststoffen unterschieden um den Input für einen eventuell einzusetzenden Kunststoffsortierer besser beurteilen zu können. Nahinfrarotsortierer erkennen z.B. schwarze Kunststoffe nicht. Die Metalle wurden in Eisen, Aluminium, Kupfer und sonstige Nichteisenmetalle getrennt. Nichteisenmetalle bilden gemeinsam mit reinen Metallverbunden die Fraktion Nichteisenmetalle und -Verbunde. Neben diesen Verbunden wurde noch zwischen Eisen-Kupfer-Verbunden (Spulen und Transformatoren) und Metall-Kunststoff-Verbunden unterschieden. Batterien und Ähnliches wurden als gefährlicher Abfall aussortiert, wobei zu sagen ist, dass erstens bei vielen dieser Kleinteile nicht genau erkennbar war, ob es Batterien, Kondensatoren oder sonstige Teile waren und zweitens viele dieser Kondensatoren und Kleinschalter bevor sie über die Anlage liefen zweifellos an Leiterplatten angebracht waren. Somit ist diese Fraktion kein Indiz für eine mangelnde Schadstoffentfrachtung zu Beginn. Des Weiteren wurden Kabel, Leiterplatten und Sonstiges (Gummi, Schaumstoff, Inertes, Holz, etc.) aussortiert.

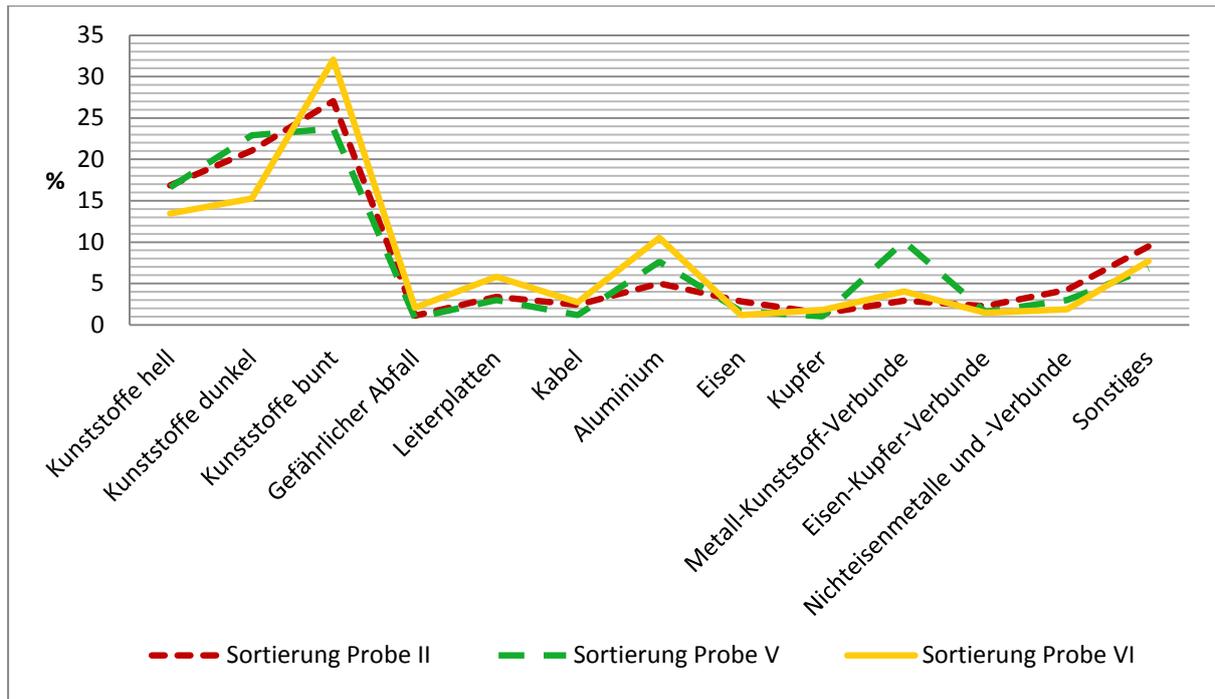


Abbildung 31: Durchlauf sortiert exklusive Sortierrest

Proben V und VI enthalten um bis zu 5% mehr Aluminium als Probe II. Das liegt daran, dass bei der ersten Sortierung der Anlagenleiter anwesend war und aus dem Aluminium noch jene Teile aussortierte, die nicht Aluminium, sondern Nirostastahl o.ä. waren. Diese Unterscheidung ist v.a. bei kleineren Korngrößen für einen Laien unmöglich, deshalb wurden bei der zweiten und dritten Sortierung sämtliche Nichteisenmetalle, die aluminiumgrau waren, dem Aluminium zugerechnet. Messing und andere optisch schwer einzustufende Metalle wurden in die Fraktion Nichteisenmetalle und -Verbunde gegeben.

Probe V weicht bei den Metall-Kunststoff-Verbunden stark von den anderen Proben ab. Das lässt sich dadurch erklären, dass der Aufschlussgrad bei dieser Probe geringer war als bei den anderen. Die Teile waren im Allgemeinen größer, dadurch entstand wesentlich weniger Sortierrest, aber es waren auch noch viele Verbunde darin enthalten, z.B. Leiterplatten noch im Gehäuse, Stecker und andere Bauteile. Der rein optische Unterschied zwischen Probe V und VI ist in Abbildung 32 gut erkennbar.



Abbildung 32: Metall-Kunststoff-Verbunde: Vergleich Probe V (links) und VI (rechts)

Die Teile in Probe V waren im Allgemeinen wesentlich größer als in Probe VI. Das erklärt auch, warum aus Probe V am wenigsten Leiterplatten aussortiert werden konnten.

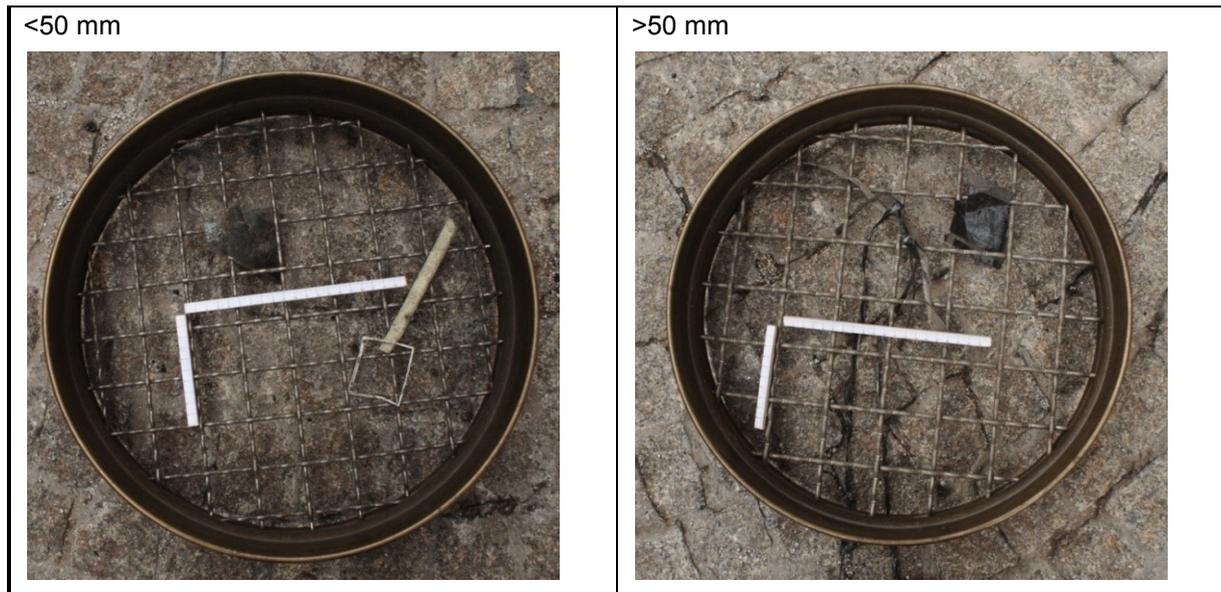
In der Folge wurde der Sortierrest gesiebt.

5.3 Siebung

Zwei Sortierreste wurden zur Siebung herangezogen, und zwar 12 kg der Probe V und 50 kg der Probe VI, da diese beiden Proben ja im Gegensatz zur Probe II einen Querschnitt aus mehreren Wochen bildeten und somit repräsentativer waren. Gesiebt wurde zunächst mit fünf Sieben: 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm und 50 mm. Da jedoch am 50 mm - Sieb wie in Tabelle 13 erkennbar wenig bis gar nichts liegen blieb, wurde auf dieses in weiterer Folge verzichtet.

Tabelle 13: Siebe, jeweils mit 10x20 cm-Winkel





Ebenfalls deutlich zu sehen ist, dass sich am meisten Material in den unteren Siebklassen <10 mm, <20 mm und <30 mm sammelte. Dies ergab die Korngrößenverteilung wie sie in Abbildung 33 dargestellt ist.

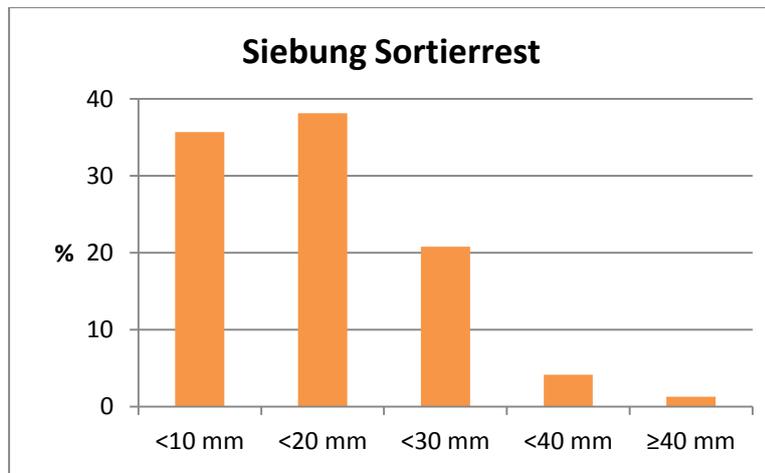


Abbildung 33: Korngrößenverteilung Sortierrest

Es ist zu erkennen, dass der Hauptanteil des Sortierrests aus Material <30 mm besteht. Das Material >30 mm wurde zur Gänze sortiert, die Fraktionen <20 mm und <30 mm wurden mittels Kreuzen und Vierteln verjüngt und einige Kilogramm sortiert. Das Material <10 mm wurde einer Laboranalyse unterzogen, da eine Sortierung bei dieser Korngröße nicht mehr sinnvoll durchführbar ist und alles, was <10 mm ist im Grunde zur Feinfraktion der Anlage gezählt werden kann. Die beiden Proben ergaben sehr ähnliche Ergebnisse, siehe Abbildung 34.

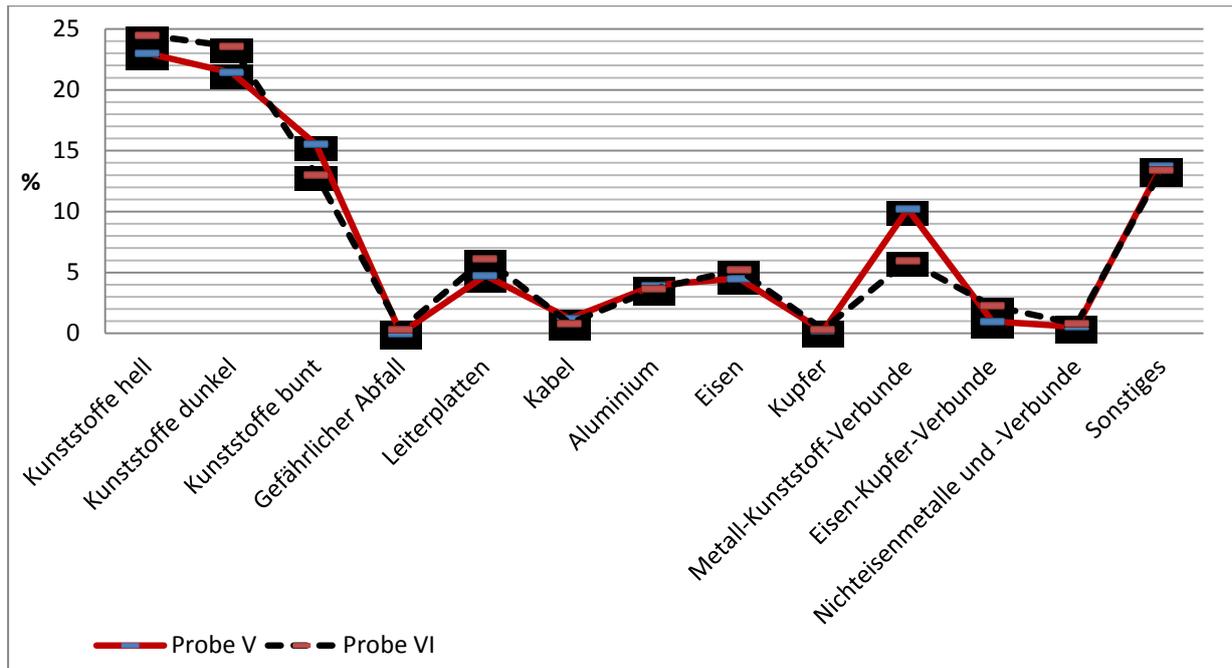


Abbildung 34: Sortierung des Sortierrests ausgenommen <10 mm

Bei der Sortierung des Sortierrests lässt sich derselbe Unterschied wie bei der Grobsortierung feststellen, nämlich ein erhöhtes Aufkommen an Verbunden sowie ein geringerer Anteil an Leiterplatten bei Probe V. Dies liegt, wie bereits in Abschnitt 5.2 erwähnt an dem geringeren Aufschlussgrad der Probe V. Wieder sind über 60% des Materials Kunststoffe. Von den Wertfraktionen waren Kupfer und Kabel kaum mehr vorhanden, aber Eisen, Aluminium und Leiterplatten im Fünf-Prozent-Bereich. Gemeinsam mit 5 bis 10% Metall-Kunststoff-Verbunden lässt sich hier ein gewisses Wertschöpfungspotential erkennen, das aufgrund der Korngröße aber allenfalls maschinell erschließbar ist.

5.4 Endergebnis Sortierung und Siebung Durchlauf

Das Ergebnis der Sortierung des Sortierrests wurde hochgerechnet und zu den jeweiligen Proben addiert. Für die Probe II, deren Sortierrest ja nicht sortiert wurde, wurden die durchschnittlichen Anteile der anderen Proben für die Berechnung verwendet. Somit ergibt sich das in Abbildung 35 dargestellte Bild.

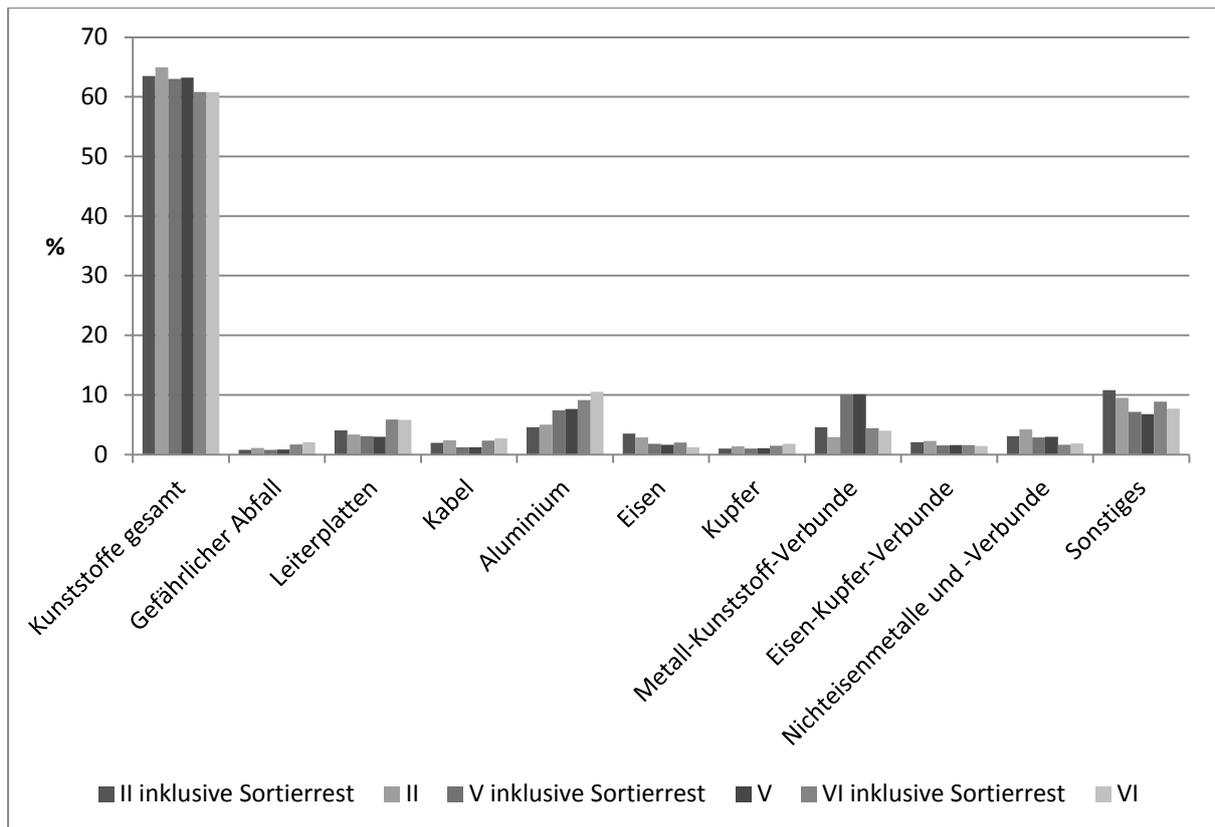


Abbildung 35: Endergebnis Sortierung

Es fällt auf, dass sich die Kunststoffanteile durch die Hinzurechnung des Sortierrests kaum verändert haben. Der Kunststoffanteil bei Probe II verringerte sich leicht, doch blieb er insgesamt bei über 60%. Die Metall-Kunststoff-Verbunde der Proben II und VI rückten näher an den Anteil in Probe V heran, was wiederum auf den geringeren Aufschlussgrad der Probe V zurückzuführen ist. Bei letzterer lagen diese Verbunde in gröberen Teilen vor, während sie bei den Proben II und VI erst in den feineren Fraktionen < 30 mm aussortiert wurden. Probe II weist am meisten Sonstiges auf. Hier wurde bei der Grobsortierung zu Beginn noch viel herausgeklaut, bei den Sortierungen der anderen Proben wurde jedoch mehr Augenmerk auf die anderen Fraktionen gelegt, wodurch Sonstiges zu einem höheren Anteil im Sortierrest anfiel. Bei Probe II liegen im Vergleich sämtliche Fraktionen verhältnismäßig höher als bei der Grobsortierung, da hier am meisten Sortierrest anfiel.

Der Anteil an Leiterplatten im Durchlauf von unter 10% lässt auf eine gute Sortierleistung schließen. Auch Eisen und Kupfer liegen mit unter 5% im unteren Bereich. Aluminium und Metall-Kunststoff-Verbunde sind noch zu einem Anteil von etwa 10% im Durchlauf enthalten. Hier ist also besonders im Hinblick auf einen weiteren Aufschluss Potential vorhanden.

Gefährlicher Abfall verlässt die Anlage nur zu einem sehr geringen Prozentsatz. Von 1,5% an gefährlichen Abfällen, die in die Anlage kommen, verbleiben 0,3% im Durchlauf, wobei wesentliche Anteile an gefährlichen Abfällen Leiterplattenbestandteile sind. Der Durchlauf ist also fast schadstofffrei.

Die Wertfraktionen Eisen, Aluminium, Kupfer, Eisen-Kupfer-Verbunde, Leiterplatten, Nichteisenmetalle und -Verbunde, Metall-Kunststoff-Verbunde und Kabel machen insgesamt jeweils über 30% des Durchlaufmaterials aus wie in Abbildung 36 noch einmal verdeutlicht wird.

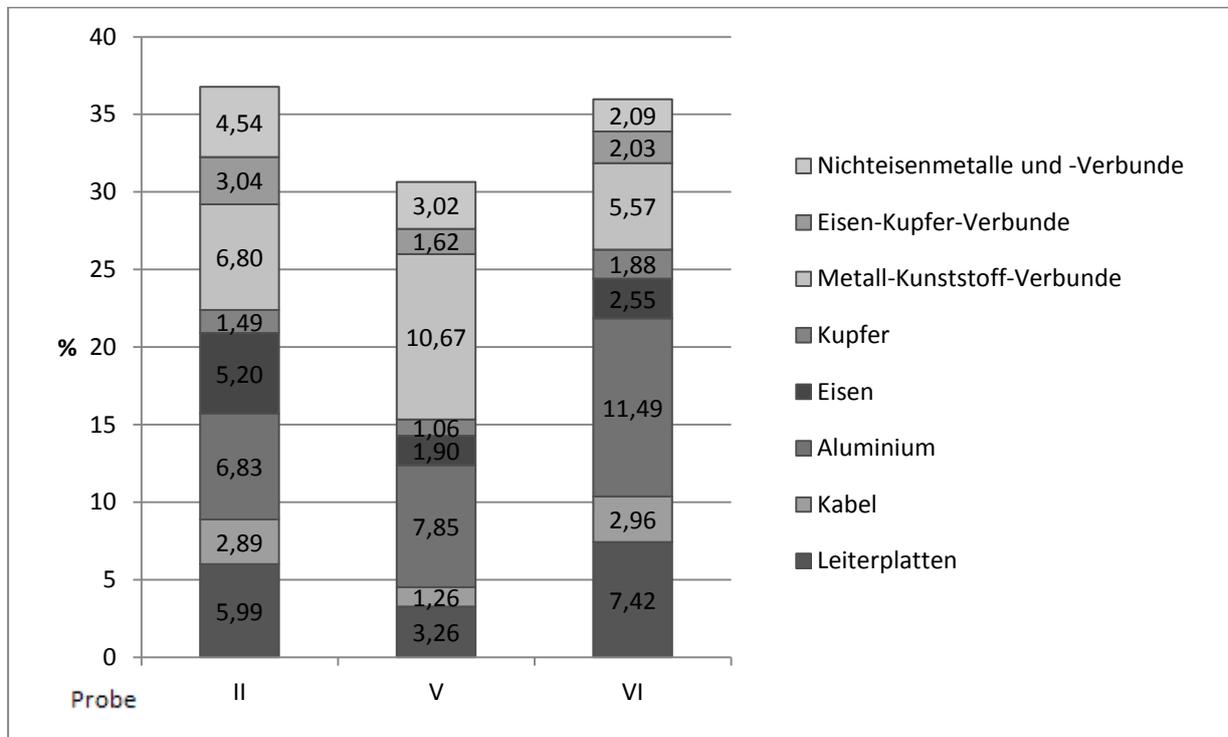


Abbildung 36: Anteil an Wertfraktionen im Durchlauf

Nur bei den Metall-Kunststoff-Verbunden und den Kabeln sind hier noch Anteile abzuziehen. Das durchschnittliche Verhältnis Kupfer zu Kunststoff von Kabeln ist 40:60 [16]. Das Verhältnis Metall zu Kunststoff der Metall-Kunststoff-Verbunde ist nur grob schätzbar. Als geeignetste Annäherung scheint das Verhältnis Metalle zu Kunststoffe der Elektrokleingeräte gesamt, was in etwa bei 50:50 liegt (siehe Abschnitt 2.4).

5.5 Laboranalytik [68]

Für die Laboranalyse standen mehrere Proben zur Verfügung. Zum Einen die Feinfraktion der Anlage (<12 mm), die auf zwei verschiedene Arten beprobt wurde. Einerseits wurden vier Mal jeweils ca. 2 kg aus dem fallenden Stoffstrom während des Betriebs entnommen. Diese frischen Proben wurden nur auf den Wassergehalt hin untersucht, da sie die einzigen „frischen“ Proben darstellten, die noch keinen Feuchtigkeitsverlust durch die nachfolgende Lagerung erlitten hatten. Zum Anderen wurden vier Mal etwa 3 kg des Materials <12 mm aus dem Bunker der seit Inbetriebnahme der Anlage gesammelten Feinfraktion entnommen. Zudem entstand im Laufe von Sortierung und Siebung ebenfalls eine Feinfraktion (<10 mm), da etwa ab dieser Korngröße die Erkennung und damit das Sortieren der Stoffe nicht mehr möglich war, und zwar von Probe V 4 kg und von Probe VI 17 kg.

Da das Ganzjahresmaterial sicherlich am repräsentativsten ist, wurden von den vier gezogenen Proben zwei analysenfertig gemacht, d.h. es wurden Störstoffe entfernt, die beim Mahlen auf eine analysfähige Korngröße ($\leq 0,5$ mm) Probleme in der Mühle verursachen würden. Dies sind im Wesentlichen Metalle und Inertstoffe. Diese Proben erhielten die Probenbezeichnungen Probe VII und Probe VIII. Doch auch vom Material <10 mm der Sortierungen und Siebungen wurden die beiden Proben V und VI herangezogen, wobei beide zunächst durch Aufkegeln und Vierteln [69] verjüngt wurden. Abbildung 37 zeigt diese beiden Proben. Danach wurden Störstoffe ausgeklaut.



Abbildung 37: Proben V (4 kg) und VI (17 kg) vor Verjüngung

Tabelle 14 zeigt die verschiedenen Fraktionen der vier fürs Labor vorbereiteten Proben. Die Photos zeigen einerseits das gesamte aussortierte Material um einen Überblick über die Mengen zu bekommen und andererseits Detailaufnahmen der Fraktionen Interstoffe, Glas und Metalle.

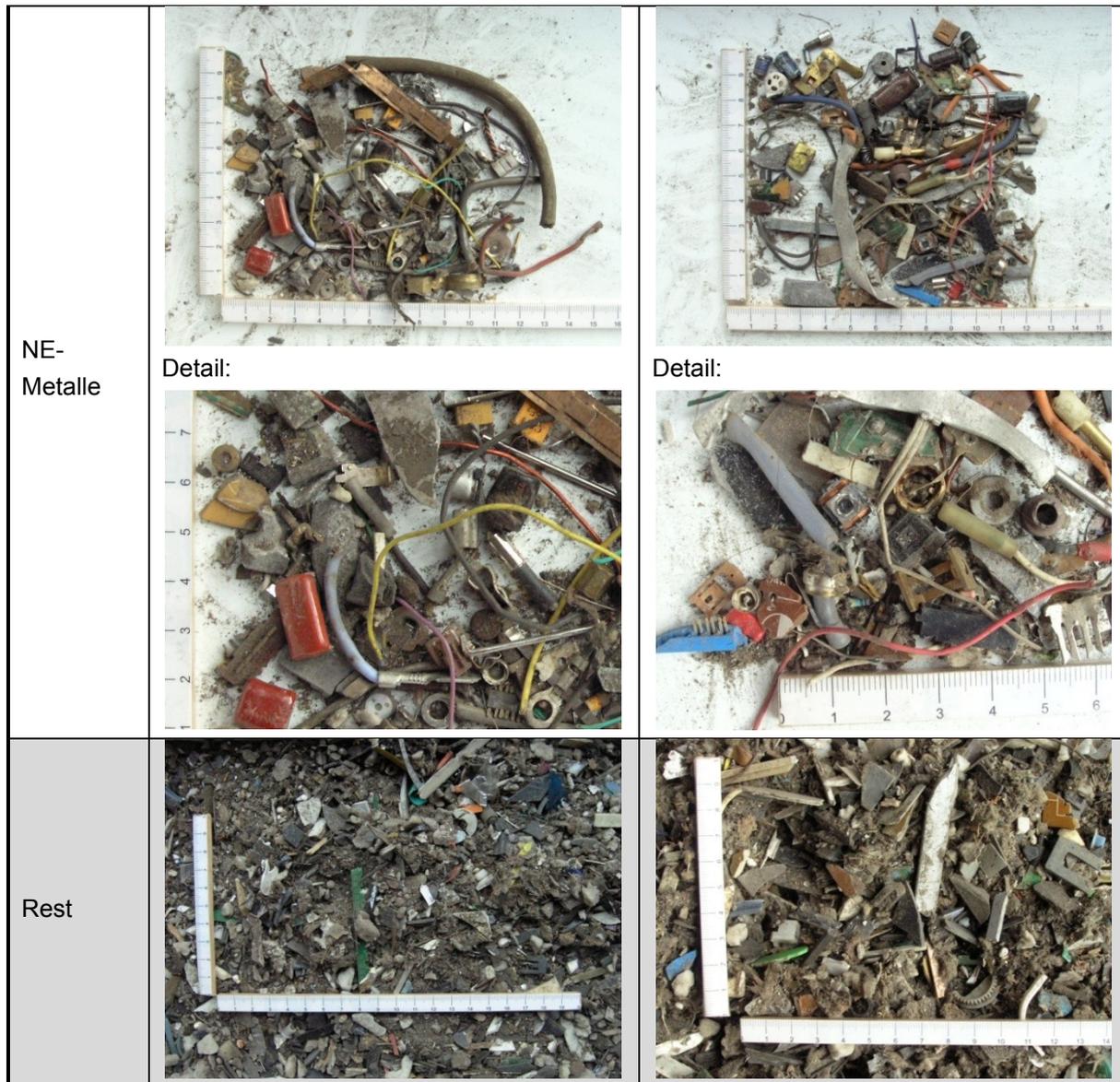
Tabelle 14: Aufbereitete Proben

Analysefertiges Material		
Proben aus Ganzjahresmaterial		
	<12 mm VII	<12 mm VIII
Inertstoffe	 <p>Detail:</p> 	 <p>Detail:</p> 
Glas		
Kupfer		

<p>Fe- Metalle</p>	 <p>Detail:</p> 	 <p>Detail:</p> 
<p>NE- Metalle</p>	 <p>Detail:</p> 	 <p>Detail:</p> 

<p>Rest</p>		
<p>Proben von Sortierung und Siebung</p>		
<p><10 mm V</p>		<p><10 mm VI</p>
<p>Inertstoffe</p>	 <p>Detail:</p> 	 <p>Detail:</p> 
<p>Glas</p>		

	Detail: 	Detail: 
Kupfer		
Fe-Metalle		
	Detail: 	Detail: 



Die Metalle wurden mittels Permanentmagnet wie in Abbildung 38 dargestellt in Metalle magnetisch (Fe-Metalle) und Metalle nichtmagnetisch (NE-Metalle) getrennt.



Abbildung 38: Magnet zur Trennung der Metalle

In beiden Metallfraktionen sind auch viele Metall-Kunststoff-Verbunde, z.B. Kabel, enthalten wie in Tabelle 14 zu erkennen. Deswegen ist die Trennung zwischen Fe-Metallen und NE-Metallen nicht sehr effizient. Das Ergebnis bietet nur einen groben Überblick, da die Teile je nach Lage am Magneten haften blieben oder nicht.

Tabelle 15 zeigt die gewichtsmäßigen Anteile der fünf aussortierten Fraktionen und dem restlichen, störstoffentfrachteten Material. Der Unterschied zwischen Inertstoffen, Glas und Kunststoff war zum Teil optisch nicht mehr auszumachen. Im Zweifelsfall wurden fragliche Teilchen im Sinne der nachfolgenden Mahlung eher zur Glas- oder Inertfraktion gegeben.

Tabelle 15: Analysefraktionen

Vorbereitung zur Laboranalyse				
	<10 mm vom Sortierrest		Ganzjahresmaterial (Feinfraktion)	
	<10 mm V [%]	<10 mm VI [%]	<12 mm VII [%]	<12 mm VIII [%]
Glas*	13,0	6,20	12,6	12,9
Inertes*	3,83	3,67	7,22	6,85
Kupfer	0,39	0,70	0,24	0,22
Metalle und Metallverbunde Fe	3,10	6,24	12,3	12,9
Metalle und Metallverbunde NE	5,02	6,03	8,10	7,76
Rest (Analysematerial)	74,7	77,2	59,6	59,4

*Diese Fraktionen wurden nicht analysiert

Neben den Metallen, die sich hauptsächlich in der Art ihres Verbundes unterscheiden, gibt es eine Auffälligkeit bei der Inertfraktion. Während diese bei den Proben <12 mm VII und VIII und <10 mm VI eine durchwegs homogene Zusammensetzung aus mineralischen Materialien (Steinen) verschiedener Formen und Größen sowie Keramikteilchen aufweisen, besteht das Inertmaterial der Probe <10 mm V zu einem großen Teil aus nahezu kugeligen, weißen Kiesel. Es handelt sich dabei mit höchster Wahrscheinlichkeit um Zeolithe wie sie in Waschmaschinen zur Trocknung eingesetzt werden. Dabei werden sowohl gebrochenes Naturgestein als auch mit Bindemittel aus Zeolithpulver geformte synthetische Zeolithe verwendet [70]. Diese beiden Arten sind in Abbildung 39 zu sehen.



Abbildung 39: Natürlich gebrochener und synthetischer Zeolith [71], [72]

Waschmaschinen werden zwar bereits vorzerkleinert in der Anlage aufgegeben, zählen aber nicht zum Standardmaterial. Daher ist vom Material <10 mm die Probe VI als repräsentativer zu erachten, zumal sie vor der Verjüngung 17 kg und nicht wie die Probe V nur 4 kg ausmachte. Dies wird bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt.

Die jeweils vier Fraktionen der vier Proben wurden auf folgende Parameter hin untersucht:

- Fe-Fraktion: Aluminium (Al), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Zink (Zn), Blei (Pb), Kobalt (Co);
- NE-Fraktion: Al, Cu, Fe, Zn, Pb, Co;
- Cu-Fraktion: Al, Cu, Fe, Zn, Pb, Co;
- Rest: Al, Cu, Fe, Zn, Pb, Co, Nickel (Ni), Chrom (Cr), Arsen (As), Cadmium (Cd), Antimon (Sb), Quecksilber (Hg), Chlor (Cl), Brom (Br), Heizwert (unterer Heizwert Hu), Brennwert (oberer Heizwert Ho).

Es sind dies im Wesentlichen die Wertstoffe (Al, Fe, Cu) und die Parameter, die die Mitverbrennung von Abfällen gemäß Abfallverbrennungsverordnung beschränken (Sb, As, Pb, Cd, Cr, Co, Ni, Hg). Für Chlor und Brom enthält die Verordnung zwar keine Grenzwerte der Inhaltstoffe, sie können aber bei der Verbrennung zur Bildung von Dioxinen und Furanen führen, für die strenge Emissionsgrenzwerte gelten.

5.5.1 Wassergehalt und Brennwert

Tabelle 16 zeigt die Wassergehalte der Feinfraktion von den ersten vier Probenahmen, bei denen das Material direkt aus dem Stoffstrom entnommen wurde.

Tabelle 16: Wassergehalt und Trockensubstanz der aus dem Stoffstrom entnommenen Proben

Feinfraktion <12 mm				
Probenahme aus dem Stoffstrom				
Probe	I [%]	II [%]	III [%]	IV [%]
Wassergehalt	13,1	12,1	3,5	4,5
Trockensubstanz	86,9	87,9	96,5	95,5

Die Proben unterscheiden sich in ihrem Wassergehalt um fast 10%. Die Proben I, III und IV wurden unmittelbar nach Einschalten der Anlage gezogen. Über Nacht trocknet das Material, das im feuchten Zustand am Förderband klebt und führt am Morgen zu einem höheren Feinanteil. Der Wassergehalt der Probe II ist jedoch genauso hoch wie der der Probe I, sodass die Schwankung nur auf das Material selbst und nicht die Probenahme zurückzuführen ist. Dafür spricht auch, dass Proben I und II am selben Tag (12.7.2011) entnommen wurden und die Proben III und IV an zwei aufeinanderfolgenden Tagen im August.

Der Wassergehalt der Laborproben lag zwischen 0,6 und 1,2%. Sie waren also durch die längere Lagerung weitestgehend trocken bzw. wiesen die umgebende Luftfeuchte auf.

In Tabelle 17 sind die ermittelten Brennwerte der Laborproben angeführt. Es wurde nur der Brennwert des analysefertigen Materials bestimmt, ohne die aussortierten Störstoffe Metalle und Inertstoffe. Unter der Annahme, dass diese den Brennwert nicht beeinflussen, ergibt sich für die Gesamtprobe der in Tabelle 17 ermittelte Brennwert für die Feinfraktion. Dies ist eine Vereinfachung, da die aussortierten Metallfraktionen auch Kunststoffe enthielten (siehe Tabelle 14). Die Bezeichnung Probe gesamt versteht sich mit dem Störstoffanteil.

Tabelle 17: Brennwert Feinfraktion

Brennwert				
Probe	V (<10 mm) [kJ/kg]	VI (<10 mm) [kJ/kg]	VII (<12 mm) [kJ/kg]	VIII (<12 mm) [kJ/kg]
Rest	12 500	16 500	14 200	14 300
Probe gesamt	9 338	12 730	8 458	8 499

Erwartungsgemäß liegen die Werte des Ganzjahresmaterials eng beieinander, während die beiden Feinfraktionen aus der Sortierung sehr unterschiedliche Brennwerte haben. Letztere wiesen mit 74 und 77% wesentlich höhere Reststoffanteile auf als die eigentliche Feinfraktion (jeweils 60%, siehe Tabelle 15). Der Brennwert der Feinfraktion liegt also bei durchschnittlich 8.500 kJ/kg TS. Das Material ist somit nicht deponierbar, da es den Grenzwert der Deponieverordnung von 6.600 kJ/kg TS klar übersteigt. Der Rest, der zu einem großen Teil aus Kunststoffen besteht, bietet sich mit einem Heizwert von durchschnittlich 14.000 kJ/kg für eine thermische Verwertung an.

5.5.2 Wertmetalle

Als Wertmetalle werden hier Aluminium, Zink, Eisen und Kupfer betrachtet, da sie zur Gänze, d.h. von allen Laborfraktionen, bestimmt wurden und für eine stoffliche Verwertung in Frage kommen. Abbildung 40 zeigt die Laborergebnisse der vier Proben und jene einer im November 2010 von Saubermacher selbst durchgeführten Voranalyse [69]. Letztere wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse durchgeführt, während am institutseigenen IAE-Labor mit Flammenatomabsorptionsspektrometrie bzw. Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) gearbeitet wurde. Bei der Voranalyse kam zudem der Probenahme kein besonderes Augenmerk zuteil. Auch der gefundene Goldgehalt von 28 mg/kg TS lässt Zweifel an der Repräsentativität dieser Untersuchung aufkommen, sie dient hier somit lediglich als Vergleich.

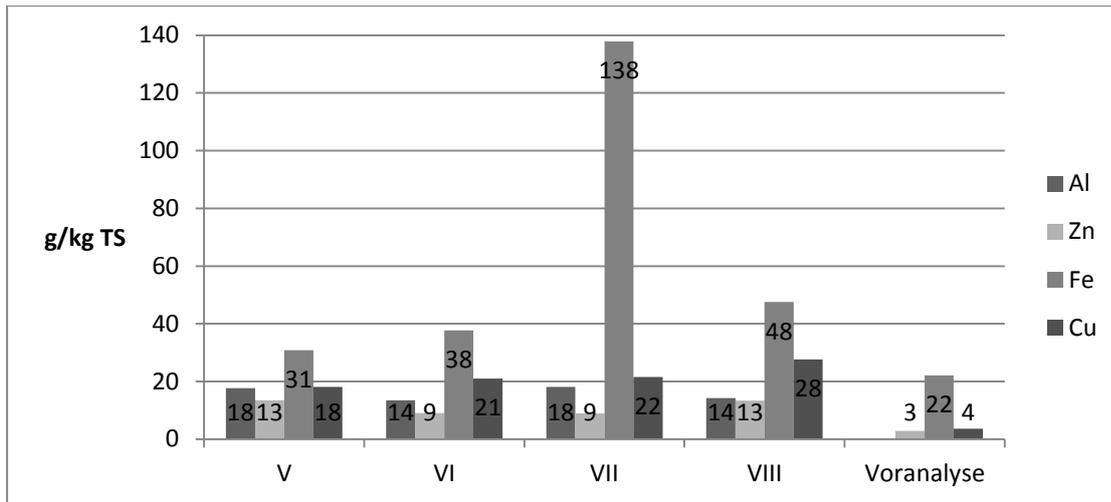


Abbildung 40: Metallgehalte <12 mm, Aluminium wurde bei der Voranalyse [73] nicht analysiert

Obwohl Probe VII aus dem Ganzjahresmaterial stammt, weist sie einen viel höheren Eisengehalt auf als die restlichen Proben. Im Allgemeinen befinden sich in der Feinfraktion 4 (ohne Ausreißer) bis 6% (Mittelwert) Eisen.

Zink ist nur zu durchschnittlich einem Prozent vorhanden. Da Zink sowohl in Batterien vorkommt, als auch zum Korrosionsschutz als Beschichtung auf Schrauben und anderen Bauteilen dient, lässt sich hieraus keine mangelnde Schadstoffentfrachtung ableiten.

In den Proben befanden sich 14 bis 18 g/kg Aluminium, also weniger als 2%.

Kupfer ist zu 2 bis 3% Bestandteil der Siebfraction. Abbildung 41 zeigt die Durchschnittsgehalte der vier Metalle.

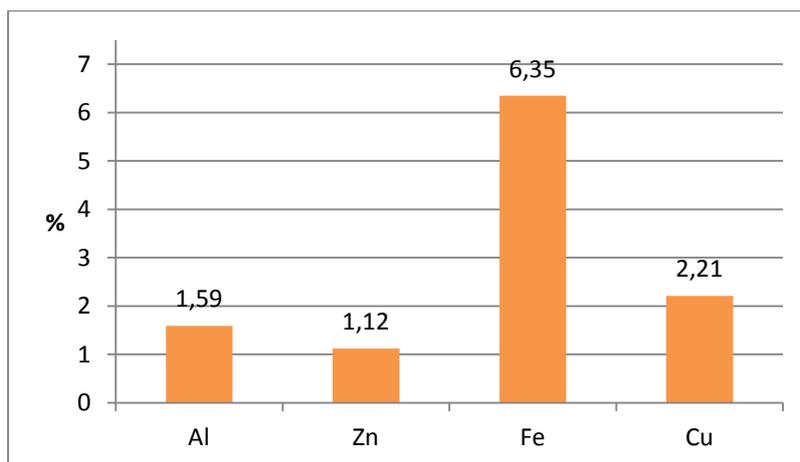


Abbildung 41: Durchschnittliche Metallgehalte <12 mm

Es bleibt zu sagen, dass Kupfer, Aluminium und Zink zwar zum Großteil in der NE-Fraktion angereichert werden, ein wesentlicher Teil jedoch bei einer Magnetscheidung als

Metallverbund oder durch elektrostatische Haftkräfte mit dem Eisen ausgeschleust werden. Somit liegt die Ausbeute dieser Metalle etwas niedriger als in Abbildung 41 dargestellt.

5.5.3 Metalle der Abfallverbrennungsverordnung (AVV)

Tabelle 18 zeigt die Gehalte von Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel und Quecksilber der Kunststofffraktion und die Grenzwerte für die Mitverbrennung der AVV. Um auf die Herkunft der Metalle schließen zu können, sind Aluminium, Zink, Eisen und Kupfer noch einmal angeführt.

Tabelle 18: Metallgehalte im Rest der Feinfraktion und Vorgaben der Abfallverbrennungsverordnung für die Mitverbrennung von Abfällen, die keine Ersatzbrennstoffe sind [50]

Metallgehalte Rest					
	V [mg/kg TS]	VI [mg/kg TS]	VII [mg/kg TS]	VIII [mg/kg TS]	AVV [mg/kg TS]
Ni	616	870	912	793	35
Cr	255	309	226	236	95
As	23	27	24	328	5
Cd	43	81	68	69	0,85
Sb	1 060	1 660	1 790	1 770	35
Hg	13	15	8	10	0,375
Co	79	80	62	62	4,5
Pb	8 620	8 370	16 200	15 800	75
Al	9 300	11 300	11 500	10 200	-
Zn	5 400	6 400	6 200	6 800	-
Fe	27 900	27 100	35 500	31 400	-
Cu	7 000	8 300	6 700	10 200	-

Die Gehalte sind bei weitem zu hoch für eine Mitverbrennung.

Nickel, Cadmium und Kobalt stammen im Wesentlichen aus Batterien. Kobalt ist Bestandteil von Nickel-Metallhydridakkus und auch von Lithium-Ionenakkus. Diese ersetzen zunehmend Nickel-Cadmium-Akkus. Kobalt und Cadmium sind zu gleichen Teilen in der Feinfraktion enthalten.

Die Hauptbestandteile von Batterien sind jedoch Blei, Eisen und Zink. Eisen und Zink kommen in vielen anderen Teilen von EAG vor, während Blei neben Batterien auch in Lötzinn und im Konusglas von Bildschirmen vorkommt. Letzteres gehört nicht zum Aufgabematerial. Zinn wurde zwar bei dieser Analyse nicht untersucht, war aber bei der Voranalyse der Feinfraktion zu 420 mg/kg [73] enthalten. Da die Bleigehalte, die im Labor gefunden wurden wesentlich höher liegen, muss hier von einer mangelnden Schadstoffentfrachtung ausgegangen werden.

Während zur Bestimmung der Schwermetallgehalte von Antimon, Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber nur der Rest (störstoffentfrachtetes Labormaterial) herangezogen wurde, wurden Blei und Kobalt von sämtlichen Fraktionen bestimmt.

Abbildung 42 zeigt wie sich diese beiden Elemente auf die unterschiedlichen Fraktionen aufteilen.

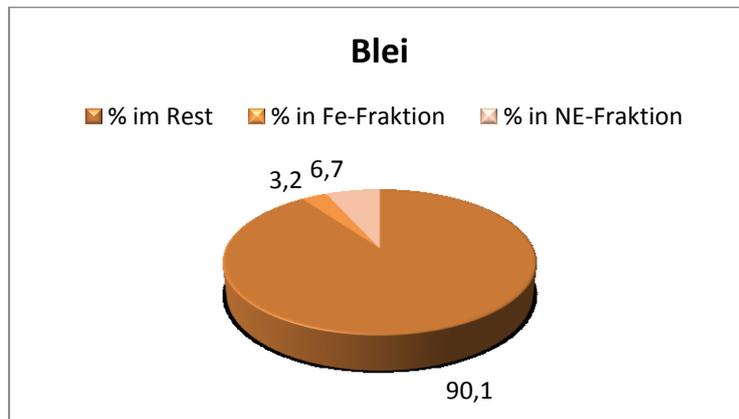


Abbildung 42: Verteilung von Blei in Feinfraktion

Da der Rest zum Großteil aus Kunststoffen besteht, ist zu erkennen, dass auch bei einer gegebenen Aussortierung der Kunststoffe aus dem Durchlauf der Bleigehalt kaum zu mindern ist.

Abbildung 43 zeigt wie sich Kobalt auf die verschiedenen Fraktionen verteilt.

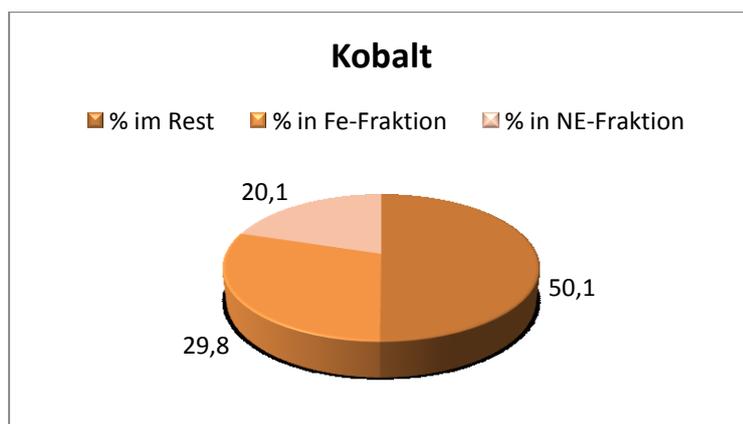


Abbildung 43: Verteilung von Kobalt in der Feinfraktion

Kobalt wird nicht nur in Batterien, sondern auch als Farbstoff verwendet. Es ist zu 50% im Rest enthalten, würde also durch eine Metallabscheidung zur Hälfte aus der Feinfraktion ausgeschleust werden.

5.5.4 Chlor, Brom

Für die thermische Verwertung relevant sind neben den gesetzlich vorgegebenen Schadstoffgrenzen auch die Halogene Chlor und Brom. Sie können bei der Verbrennung zur Bildung von Dioxinen und Furanen führen, Chlor kann außerdem in Verbindung mit Schwefel zu Anbackungen und als Chlorwasserstoff zu Korrosion führen. In Tabelle 19 sind die Chlor- und Bromgehalte im Rest des Analysematerials aufgeführt.

Tabelle 19: Chlor- und Bromgehalte

Rest				
	V [mg/kg TS]	VI [mg/kg TS]	VII [mg/kg TS]	VIII [mg/kg TS]
Cl	5 160	7 560	5 940	4 940
Br	2 230	6 580	4 790	3 330

In der Zementindustrie werden Ersatzbrennstoffe mit Chlorgehalten von 0,4 bis 0,8% verbrannt [74]. Die Gehalte im Rest des <12 mm Labormaterials liegen bei maximal 0,75%. Die Kunststoffe der Feinfraktion sind zur Gänze im Rest enthalten. Eine thermische Verwertung in der Zementindustrie wäre also, was Chlor und Brom betrifft, für die in dem Material enthaltenen Kunststoffe denkbar.

6 Stoffstromanalyse

In diesem Kapitel soll zunächst erläutert werden, was eine Stoffstromanalyse ist, welche Arten von Stoffstromanalysen es gibt und aus was für Bestandteilen sie besteht um in weiterer Folge die EAG-Behandlungsanlage in Unterpremstätten in ebendieser Art und Weise zu analysieren. Die ÖNORM S 2096 verwendet den Begriff Stoffflussanalyse. Trotzdem wird in dieser Arbeit der Begriff Stoffstromanalyse bevorzugt.

6.1 Stoffstromanalyse nach ÖNORM S 2096 [2], [3]

Die Stoffstromanalyse ist das Instrument der Erfassung von Umweltaspekten und damit in weiterer Folge von Umweltauswirkungen. Im Allgemeinen befasst sie sich mit allen bilanzierbaren Größen, die in ein System ein- und ausfließen. Dabei gilt immer der Massenerhaltungssatz:

$$\sum \dot{m}_{\text{EIN}} = \sum \dot{m}_{\text{AUS}} \quad (5)$$

\dot{m}_{EIN} ... in das System eingehende Massenströme

\dot{m}_{AUS} ... aus dem System austretende Massenströme

Das zugrunde liegende System kann ein Prozess oder Verfahren sein, ein Produkt, ein Betrieb, ein Unternehmen, ein Haushalt, ein Staat u.v.m. Was genau innerhalb des Systems passiert, ist i.A. nicht von Bedeutung, die Stoffstromanalyse wird daher auch „black box“ - Analyse genannt.

Erhaltungssätze existieren für

- die Gesamtmasse,
- Stoffe:
 - chemische Spezies, z.B. H₂O, CH₄;
 - Atome, z.B. C, O, Fe;
- Energie.

Entsprechend werden

- Massenbilanzen,
- Komponentenbilanzen,
- Atombilanzen und/oder
- Energiebilanzen erstellt, wobei die Energiebilanzierung nach ÖNORM S 2096-2 kein Teil einer Stoffstromanalyse ist.

Den Übergang von Input- zu Outputgrößen eines einzelnen Stoffes, oder Materials, beschreibt die Transferfunktion mithilfe der Transferkoeffizienten (vgl. Abbildung 44).

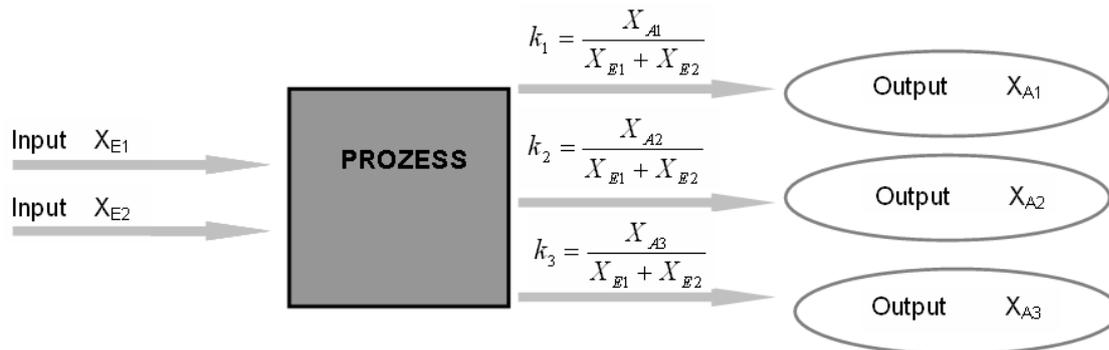


Abbildung 44: Transferfunktion am Beispiel eines Prozesses mit zwei Inputgrößen und drei Outputgrößen

$X_{E\dots}$	Eingangsgut (Input) X
$X_{A\dots}$	Ausgangsgut (Output) X
$k_{1,2,\dots,n\dots}$	Transferkoeffizient

Die Summe der Transferkoeffizienten k_x muss immer 1 ergeben:

$$k_{\text{gesamt}} = k_1 + k_2 + \dots + k_n = 1 \quad (6)$$

Nach ÖNORM S 2096-1 befasst sich die Stoffstromanalyse mit Stoff- und Güterflussanalysen, wobei Stoffe nur Elemente oder chemische Verbindungen in Reinform sind, d.h. Trinkwasser gehört beispielsweise nicht dazu, da es Ca, Mg u.v.m. enthält. Güter sind jegliche andere Art von Materie; sie sind meist handelbar. Material ist der Oberbegriff für Stoffe und Güter. Zur Vorgangsweise bei einer Stoffstromanalyse schreibt die ÖNORM S 2096-2 folgende Arbeitsschritte vor:

1. Aufgabenstellung, Zielsetzung (Abschnitte 1.1, 1.2)
2. Systemdefinition (Abschnitt 4.5)
3. Grobbilanz zur Beantwortung der Frage, ob das System zur Erreichung der Ziele geeignet ist, wenn nein: Zurück zur Zielsetzung und u.U. zur Aufgabenstellung (Abschnitt 5.1)
4. Bilanzerstellung (Abschnitt 6.2)
5. Auswertung und Interpretation (Abschnitte 5,7)
6. Schlussfolgerungen (Abschnitt 7)
7. Zusammenfassung (Abschnitt 8)

Bewertung und Szenarienbildung sind optionale Folgeschritte.

Im nachfolgenden Kapitel 6.2 werden die Stoffbilanzen der untersuchten EAG-Behandlungsanlage graphisch dargestellt. Die Abweichungen im einstelligen Kommabereich in Kapitel 6.2.1 und 6.2.2 (vgl. Abbildung 45 und Abbildung 46) ergeben sich aus Rundungsfolgen.

6.2 Graphische Darstellung der Ergebnisse

6.2.1 Stoffströme gesamt [kg/h]

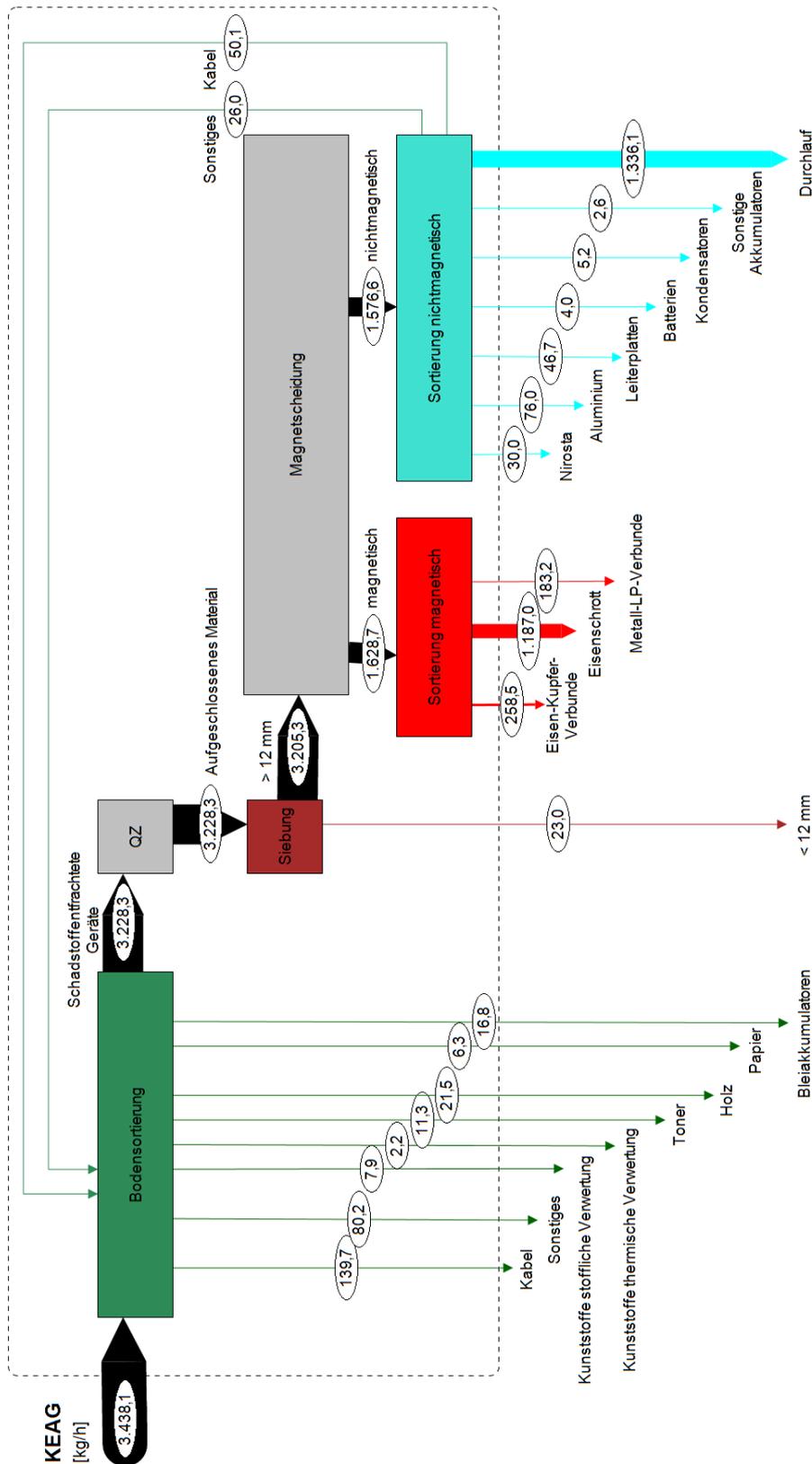


Abbildung 45: Darstellung aller Stoffströme in kg/h

6.2.2 Stoffströme gesamt [%]

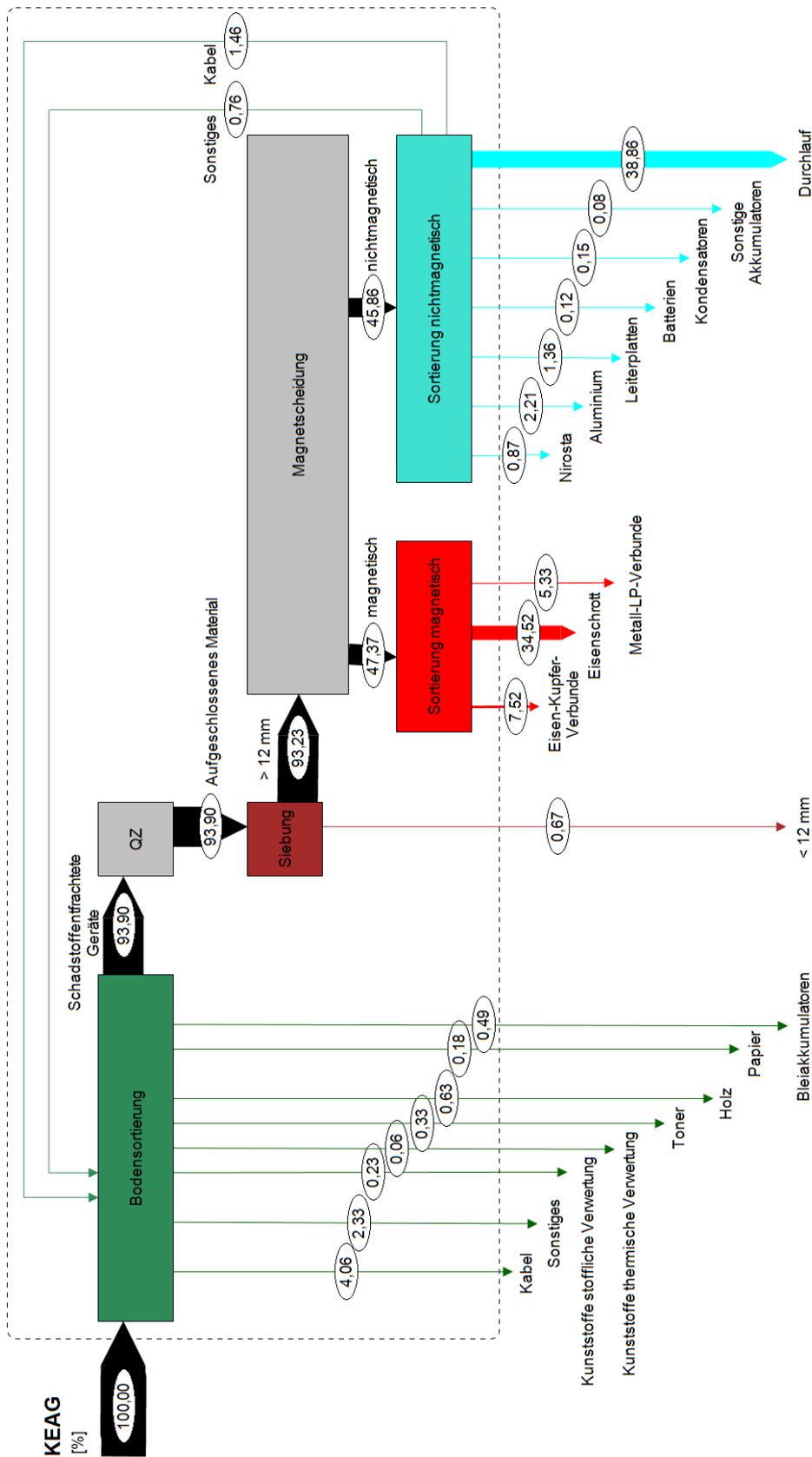


Abbildung 46: Darstellung aller Stoffströme in %

6.2.3 Zusammensetzung Durchlaufmaterial

Abbildung 47 zeigt die Zusammensetzung des Durchlaufs.

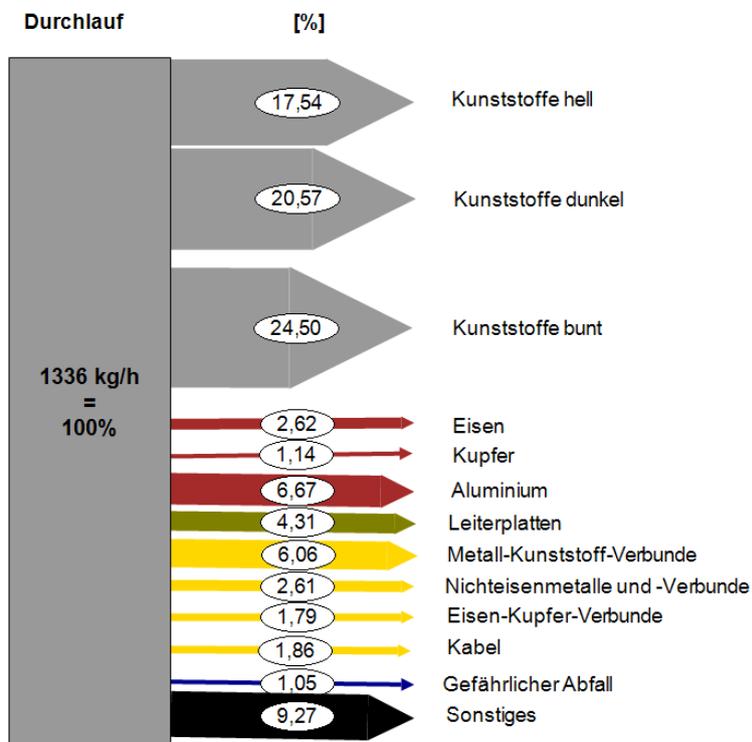


Abbildung 47: Stoffliche Zusammensetzung des Durchlaufs

6.2.4 Einzelne Stoffströme

Zusätzlich zu diesen Gesamtbetrachtungen scheint die Frage interessant, wieviel von den Wertstoffen des Inputmaterials ausgeschöpft wird und wie sich diese auf die verschiedenen Fraktionen verteilen. Diese Einzelanalyse wurde nur für die beiden Stoffströme Eisen und Kupfer durchgeführt, da diese im Gegensatz zu beispielsweise Gold oder Cadmium zum Einen in beträchtlichen Mengen vorhanden sind und zum Anderen in verschiedensten Outputfraktionen der Anlage enden. Zur Berechnung wurden einerseits Literaturdaten herangezogen, andererseits durch die Sortierung und Laboranalyse gefundene Werte. Tabelle 20 zeigt die Quellen für die Transferkoeffizienten wie sie in den nachfolgenden Darstellungen verwendet wurden.

Tabelle 20: Datengrundlage der Einzelstoffströme

Datenquellen der Stoffströme		
Eisen		
<i>Fraktion</i>	<i>%</i>	<i>Quelle</i>
<12 mm Feinfraktion	9,27	Laboranalyse
Eisen-Kupfer-Verbunde (Spulen und Transformatoren)	70	Literatur [15] (65 bis 75%)
Metall-Leiterplatten-Verbunde	39,3	Laboranalyse (Eisengehalt Fe-Fraktion)
Leiterplatten	7	Literatur [16]
Metall-Kunststoff-Verbunde aus Durchlauf	24	Fe-Gehalt KEAG aus Literatur [17]
Nichteisenmetalle und -Verbunde	5,08	Laboranalyse (Fe in NE-Fraktion)
Kupfer		
<i>Fraktion</i>	<i>%</i>	<i>Quelle</i>
Kabel	40	Literatur [16]
<12 mm Feinfraktion	2,46	Laboranalyse
Eisen-Kupfer-Verbunde	30	Literatur [15]
Metall-Leiterplatten-Verbunde	3,33	Laboranalyse (Cu-Gehalt Fe-Fraktion)
Leiterplatten	20	Literatur [16]
Nichteisenmetalle und -Verbunde	20,5	Laboranalyse (Cu-Gehalt NE-Fraktion)
Metall-Kunststoff-Verbunde aus Durchlauf	4,86	Sortierung (Summe Cu-Gehalte)

Die Eisen- und Kupfergehalte in gefährlichen Abfällen wurden aus mehreren Gründen nicht berücksichtigt. Erstens wurden sie nicht eigens beprobt, d.h. ihr Inhalt an Eisen oder Kupfer ließe sich nur grob schätzen. Zweitens stellen gefährliche Abfälle an sich schon einen so geringen Prozentsatz dar, dass der durch die grobe Schätzung entstehende Fehler genauso groß ausfallen würde wie die Materialflüsse selbst. Drittens werden sie sowieso fast zur Gänze separat erfasst und folgen auch einem anderen Behandlungsweg als die restlichen Fraktionen. Da also bei gefährlichen Abfällen die Wiedergewinnung von Eisen und Kupfer nicht im Vordergrund steht, wurden sie bei dieser Betrachtung nicht inkludiert.

Abbildung 48 zeigt sämtliche durch die Anlage laufenden Ströme, die Eisen enthalten.

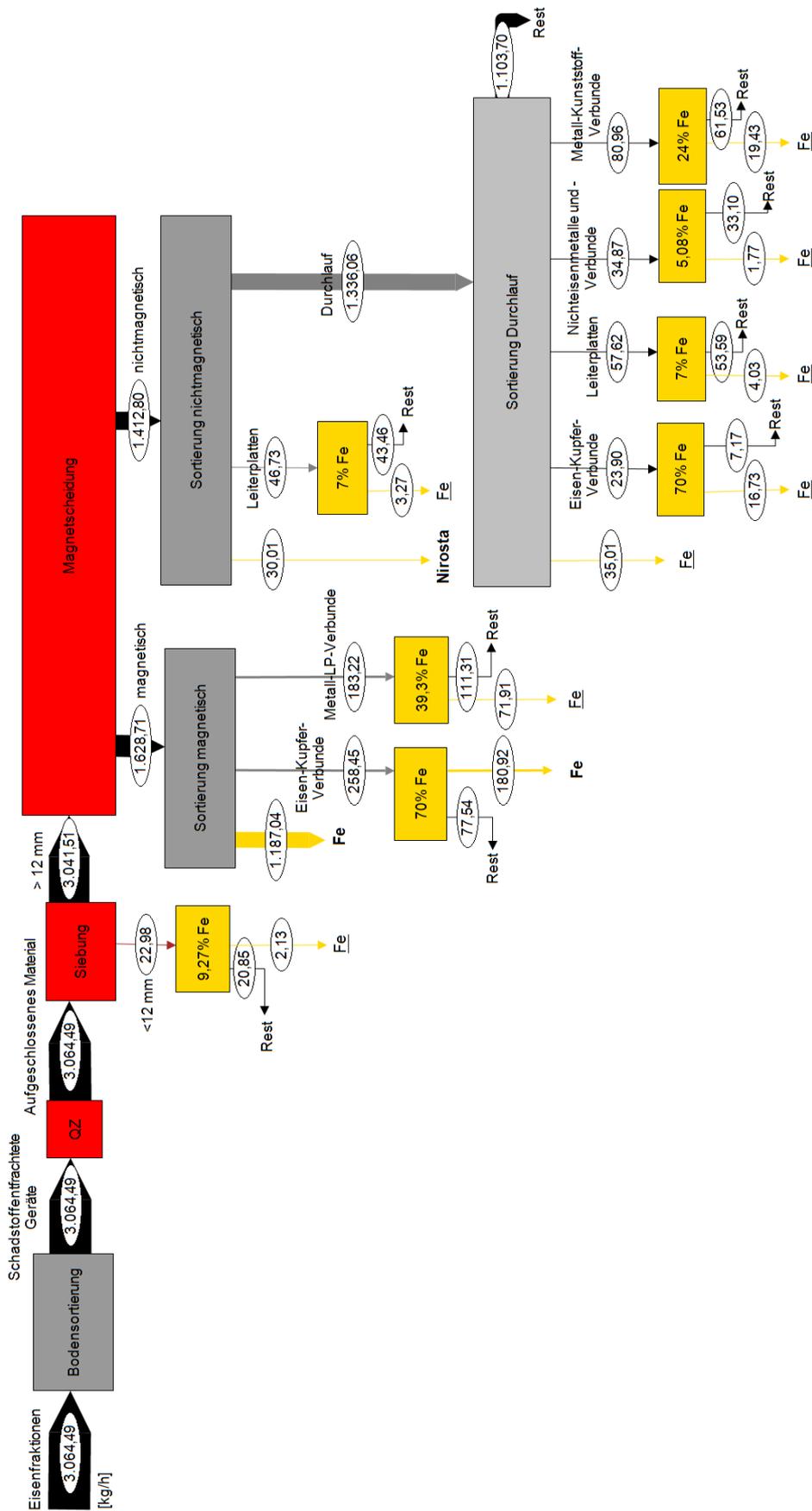


Abbildung 48: Eisenströme, Fe ... Verwertung, Fe ... Potential

Bei Betrachtung des Eisens alleine ergibt sich damit das in Abbildung 49 dargestellte Bild.

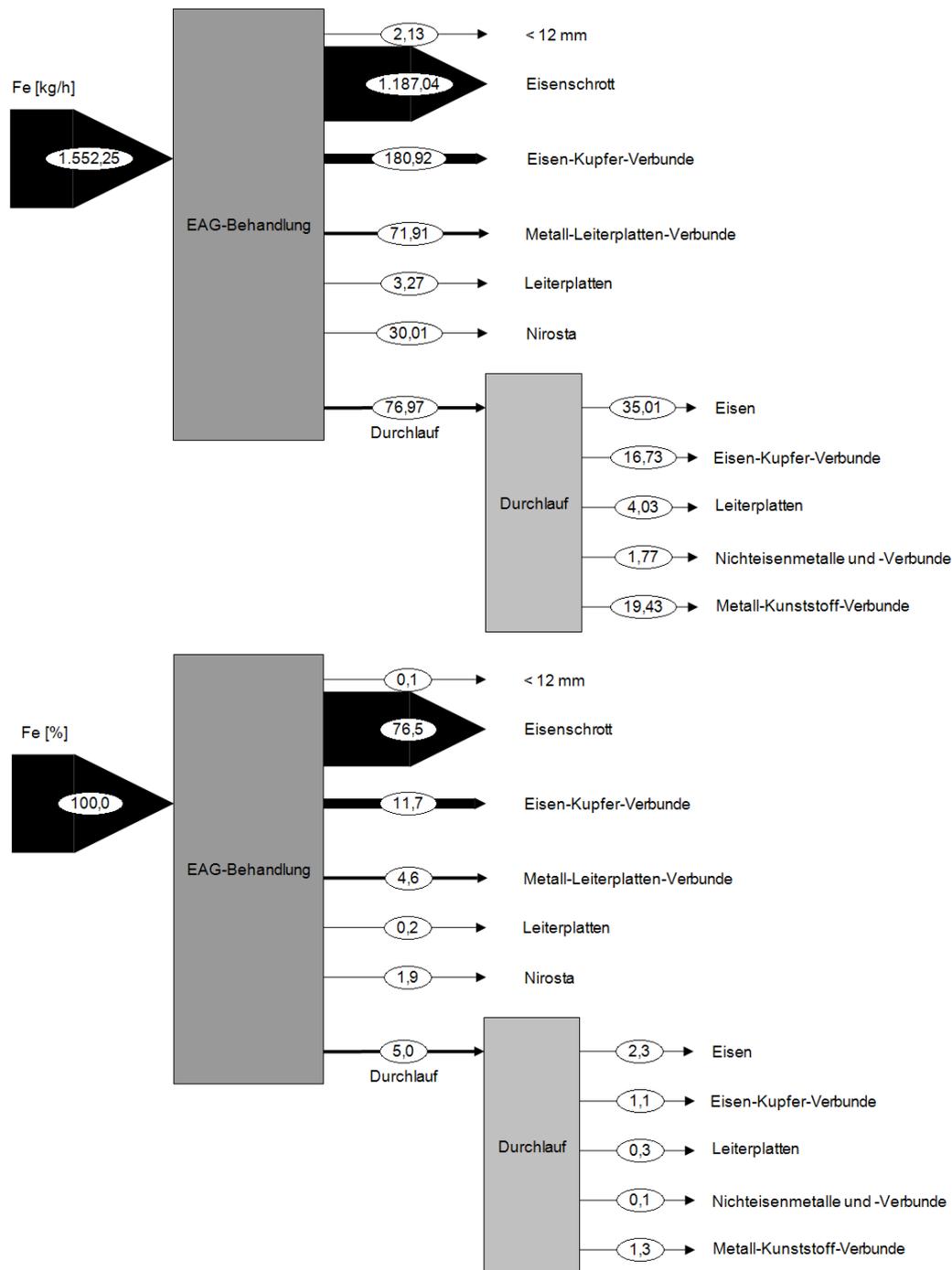


Abbildung 49: Eisenströme in kg/h und %

Im Durchschnitt durchlaufen etwa 1.550 kg/h Eisen die Behandlungsanlage. Fast 1.200 kg/h werden als Eisenschrott gewonnen. Hinzu kommen 30 kg/h Nirosta-Stahl, ebenfalls eine Eisen-Reinfraktion. 180 kg/h Eisen verlassen die Anlage im Verbund mit Kupfer. Nur 77 kg/h oder 5% des Inputs verbleiben im Durchlauf. Über 80% des Eisens sind nach der Aufbereitung in den Wertfraktionen enthalten.

Abbildung 50 zeigt sämtliche durch die Anlage laufenden Kupfer enthaltenden Ströme.

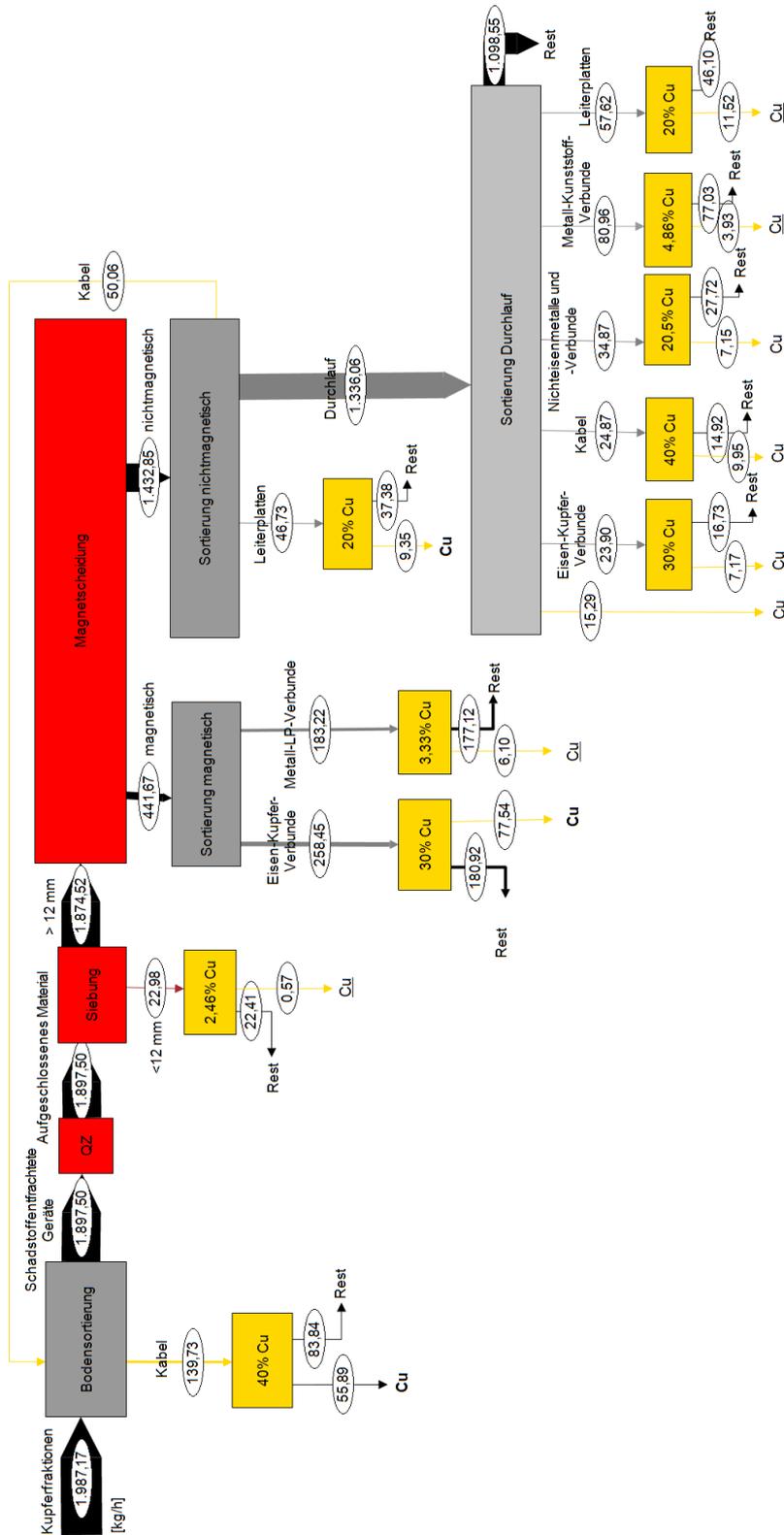


Abbildung 50: Kupferströme, **Cu** ... Verwertung, Cu ... Potential

Abbildung 51 zeigt die reinen Kupferströme in kg/h und % der Anlage.

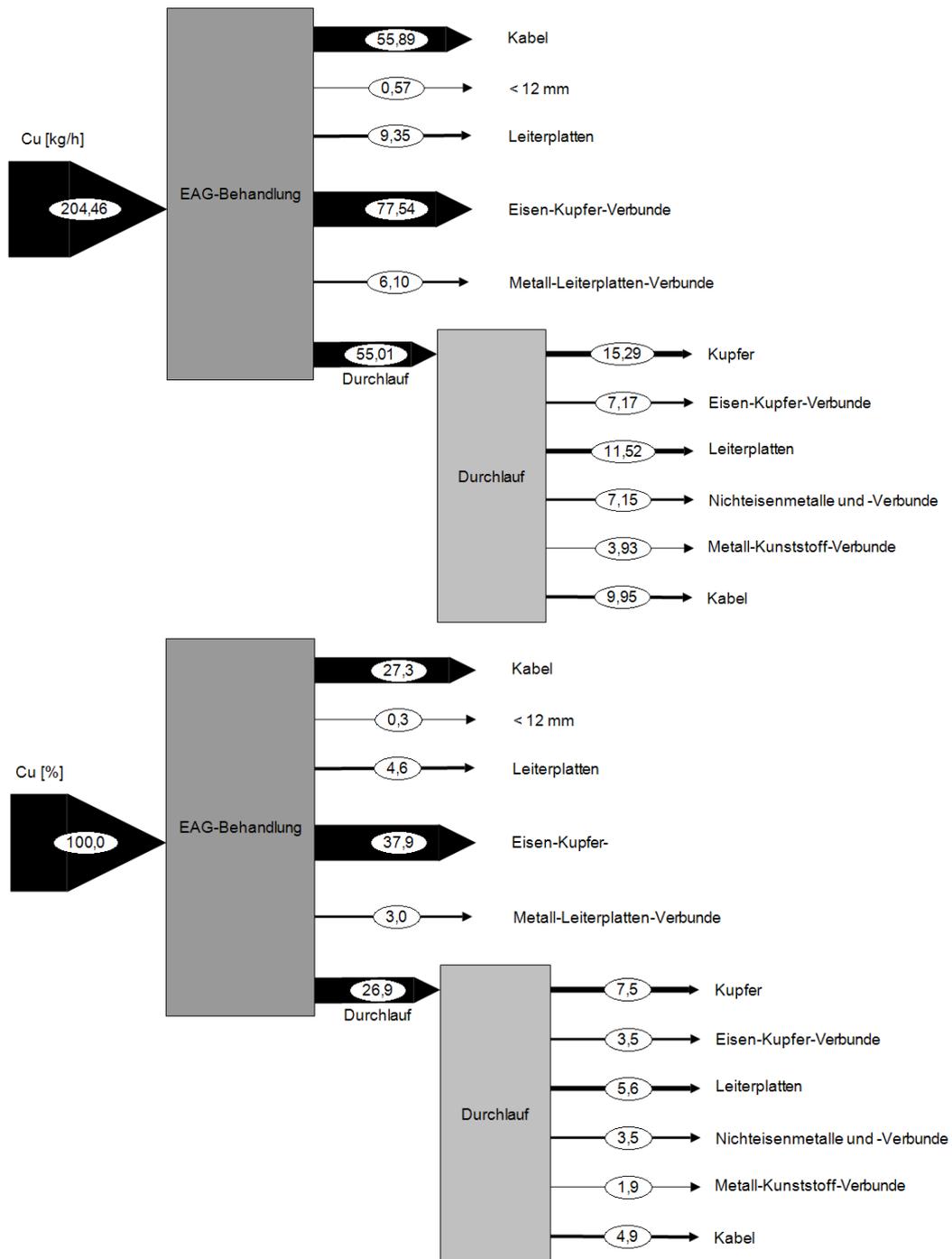


Abbildung 51: Kupferströme in kg/h und %

Bereits bei der Vorsortierung wird der Wertstoff Kupfer in Form von Kabeln aussortiert. Von den 200 kg/h an Kupfer, die die Anlage durchlaufen, werden also 35 kg durch die rein manuelle Sortierung erfasst. Der Hauptanteil des Kupfers, annähernd 80 kg/h, verlässt als magnetische Fraktion Eisen-Kupfer-Verbunde die Anlage. Am Sortierband nichtmagnetisch werden ebenfalls noch Kabel aussortiert, was die Gesamtkupferausbeute auf 133 kg/h erhöht. 10 kg/h sind in der Wertfraktion Leiterplatten enthalten. 55 kg/h landen jedoch im Durchlaufmaterial und werden somit nicht erfasst.

7 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, welcher Wertstoffanteil durch die bisherige Aufbereitung, d.h. Vorsortierung, Aufschluss durch Querstromzerspannung, Siebung, Magnetscheidung und Sortierung, aus den aufgegebenen Elektrokleingeräten abgetrennt und rückgewonnen wird.

Von den Hauptwertfraktionen Kupfer, Eisen und Leiterplatten ist die Sortierleistung bei Eisen am besten. Es verbleiben nur 4% des Gesamtinputs im Durchlauf der Anlage, wovon die Hälfte in Form von Verbunden vorliegt. Auch die 1,4 kg/h Eisen der Feinfraktion sind zu einem Teil noch im Verbund (vgl. Tabelle 14) und wären also nur durch eine weitere Zerkleinerung ausschöpfbar. Die gute Sortierleistung beim Eisen lässt sich dadurch erklären, dass ein Großteil des Eisens maschinell gewonnen wird, denn nach der Magnetscheidung müssen nur noch Nicht-Eisen-Teile entfernt werden. Zudem sind Stahl- und Eisenteile auch bei der händischen Sortierung leicht zu erkennen und aufgrund ihrer Form auch leicht auszuschleusen.

Beim nicht magnetischen Aluminium hingegen werden von den 165 kg/h an Inputmaterial nur 75 kg/h aussortiert. 90 kg/h verbleiben im Durchlauf.

Auch bei Kupfer wird das Wertschöpfungspotential noch nicht optimal genutzt. Von den 200 kg/h Kupfer, die der Anlage zugeführt werden, verbleiben zwar 150 kg in den Wertfraktionen, doch ca. ein Viertel des Kupfers (50 kg/h) ist nach der Behandlung noch im Durchlauf enthalten und wird somit nicht wiedergewonnen. Kupfer ist im Gegensatz zu Eisen nicht in handlichen Stücken vorhanden, sondern meist in Form von Kabeln. Im Querstromzerspanner werden aufgewickelte Kabel an z.B. Spulen gelöst und verheddern sich in der Folge mit sämtlichen anderen Stoffströmen, was die Sortierung erschwert.

Leiterplatten weisen mit 47 zu 58 kg/h wie Aluminium ebenfalls ein negatives Wertfraktions- zu Durchlauf-Verhältnis auf. Das liegt daran, dass die 58 kg/h im Durchlauf hauptsächlich aus sehr kleinen Teilen bestehen (vgl. Tabelle 12). Bei der Sortierung zu viert bzw. zu fünft kamen an einem ganzen Vormittag jeweils knappe 10 kg an Leiterplatten zusammen. Würde jedoch der Aufschlussgrad verringert damit mehr große Teile vorhanden sind, würden wiederum viele Leiterplatten gar nicht aus ihrem Verbund gelöst werden wie dies bei Probe V der Fall war, bei der nur 5 kg an Leiterplatten aussortiert wurden.

Das zweite Ziel der Arbeit war es, die Schadstoffentfrachtung zu beurteilen. Bei Betrachtung des Gesamtsystems scheint der Anteil an gefährlichem Abfall im Durchlauf mit weniger als einem Prozent gering. Werden nur gefährliche Abfälle bilanziert, ist die Sortierleistung jedoch verbesserungsfähig, denn von den insgesamt 54 kg/h, die in die Anlage kommen, verbleiben 14 kg/h im Durchlauf. Wie in Tabelle 12 zu sehen ist, bestehen die gefährlichen Abfälle, die im Durchlauf gefunden wurden, offensichtlich größtenteils aus von Leiterplatten stammenden Transistoren u.ä. Haushaltsübliche Batterien, Toner oder Fahrzeugbatterien waren nicht zu finden. Trotzdem kommt es zu einer Schadstoffanreicherung in der Feinfraktion, die hohe Werte sowohl an Schwermetallen als auch an Chlor und Brom aufweist. Auch in den

Kunststoffen sind Schwermetalle und Halogene enthalten. Die Vermischung von Schadstoffen mit den anderen Materialien ist daher trotz funktionierender Schadstoffentfrachtung nicht zu verhindern. Um eine Vermischung auszuschließen, müssten Leiterplatten bereits vor der maschinellen Aufbereitung entfernt werden und die Sammlung von EAG müsste optimiert werden. Die Geräte werden oft bereits vor der Anlieferung mechanisch beansprucht und in der Anlage noch ein bis mehrere Male umgesetzt. Hier liegt die Verantwortung bei den Sammelstellen, wo Batterien, Bleiakkus und Kondensatoren beispielsweise bereits entfernt werden könnten und in auslaufsicheren Behältern weiterzugeben wären. Dies wiederum setzt voraus, dass solche Teile einfach zu entfernen sind, eine Vorgabe an Hersteller, die aufgrund ihrer Unverbindlichkeit sicher nicht in nächster Zukunft erfüllt wird.

Über 60% des Durchlaufs besteht aus Kunststoffen. Diese sind jedoch wie bereits erwähnt erstens stark verunreinigt, zweitens stark schwankend in ihrer Zusammensetzung und drittens liegen sie in sehr unterschiedlichen Korngrößen von <10 mm bis 40 cm vor. Je größer die gewonnenen Kunststoffe sind, desto besser verwertbar sind sie. Daher ist zu überlegen, ob eventuell eine Voraufbereitung, z.B. mittels Smasher, sinnvoll wäre um die Gehäuse-Kunststoffe zu gewinnen, bevor das Material im Querstromzerspaner zerschlagen und kontaminiert wird. Auch aufgrund der Vielzahl der in Elektrogeräten verarbeiteten Kunststoffsorten und ihrer Schwermetall- und Flammschutzmittelgehalte ist die stoffliche Verwertung problematisch. Es ist nur durch eine tiefergehende Aufbereitung mit mehreren aufeinanderfolgenden Aufbereitungsschritten möglich, wie in Abschnitt 4.2 erwähnt, sortenreine Kunststoffrecyclate aus aufbereiteten EAG zu gewinnen, wobei die Frage der Wirtschaftlichkeit noch nicht gestellt wurde. Eine thermische Verwertung ist ebenfalls nicht uneingeschränkt durchführbar, da die Grenzwerte der Abfallverbrennungsverordnung überschritten werden. Selbst bei dem Recycling und der thermischen Verwertung eines Anteils der Kunststoffe bleibt ein Rest übrig. Für den Teil der Kunststoffe, in dem die Schadstoffe angereichert werden, bleibt auch nach mehrstufiger Aufbereitung nur die Beseitigung in Monoverbrennungsanlagen als derzeit einzige Behandlungsmöglichkeit übrig.

Im Allgemeinen ist die Sortierleistung der Anlage sehr gut. Die im Durchlauf befindlichen Wertfraktionen an Leiterplatten, Kupfer, Eisen und Aluminium betragen < 10% vom Gesamtinput, womit eine weitergehende händische Sortierung aller Voraussicht nach nicht wirtschaftlich wäre, zumal die Metalle noch zur Hälfte in Verbunden vorliegen. Mit der nächsten Ausbaustufe kann die Wertschöpfung mit Sicherheit erhöht werden, v.a. wenn dadurch auch ein Aufschluss der Metall-Leiterplatten-Verbunde, deren Zusammensetzung in dieser Arbeit nur grob geschätzt werden konnte, stattfindet.

8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde zu Beginn der Begriff Elektroaltgeräte beleuchtet. Da Elektroaltgeräte eine weit gefächerte Gruppe darstellen, werden sie in verschiedene Kategorien eingeteilt. Diese Einteilung kann nach Größe, Art der Verwendung, Herkunft oder Behandlungsweg erfolgen. Die Fragen wieviele EAG in Österreich anfallen und wie sie erstbehandelt werden wurden ebenso beantwortet.

Schließlich beschäftigte sich Kapitel 2 eingehend mit der Zusammensetzung von Elektrokleingeräten und ihren Bauteilen. Leiterplatten, Batterien, Kondensatoren und Tonerkartuschen wurden jeweils im Hinblick auf Zusammensetzung und Verwertungspotential untersucht.

Kapitel 3 bot einen Überblick über die Rechtslage zu EAG in Österreich. AWG, EAG-Verordnung und Batterienverordnung enthalten allgemeine Rechtsvorschriften, während sich andere Verordnungen, u.a. Abfallbehandlungspflichtenverordnung, Abfallverzeichnisverordnung, Abfallverbringungsverordnung, gemäß ihres Titels mit ganz bestimmten abfallwirtschaftlichen Zielen befassen.

In Kapitel 4 wurden die vier abfallwirtschaftlichen Behandlungswege Vermeidung und Wiederverwendung, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung und Beseitigung betrachtet. Es stellte sich heraus, dass in Österreich sogar mehr Anteile an EAG verwertet werden als gesetzlich vorgegeben, im Bereich Wiederverwendung und Vermeidung jedoch noch viel ungenutztes Potential vorhanden ist. Als direktes Beispiel aus der Praxis wurde die KEAG-Behandlungsanlage am Saubermacher-Standort Unterpremstätten vorgestellt.

Es folgte eine Charakterisierung der Abfälle durch insgesamt sechs Probenahmen mit anschließender Sortierung von ca. 600 kg Durchlaufmaterial in 14 Fraktionen und Laboranalyse des Feinanteils. Dabei wurden Wassergehalt, Brennwert, Chlor- und Bromgehalt, der Wertstoffgehalt an Eisen, Kupfer und Zink sowie Schwermetallgehalte bestimmt.

Schließlich wurde eine Gesamtbilanzierung als auch eine Bilanzierung einzelner Stoffströme durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Trennleistung der Anlage insgesamt sehr gut ist, aber trotzdem noch eine Vielzahl an Wertstoffen nicht genutzt wird. Schadstoffe werden zwar ordnungsgemäß entfernt, werden jedoch in der Feinfraktion angereichert und verunreinigen auch die anderen Materialien, v.a. die Kunststoffe.

9 Verzeichnisse

9.1 Literatur

- [1] BGBl. II Nr. 121: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten (Elektroaltgeräteverordnung - EAG-VO); 2005.
- [2] ÖNORM S 2096-1: Stoffflussanalyse - Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Begriffe; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 01.01.2005.
- [3] ÖNORM S 2096-2: Stoffflussanalyse - Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Methodik; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 01.01.2005.
- [4] Europäische Union: Richtlinie 02/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronikaltgeräte in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 37/24, 2003.
- [5] ÖNORM S 2106: Verwertung und Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 01.01.1998.
- [6] Vogel, E.; Steiner, M.; Quickert, A.: Siebgestützte Restmüllanalysen im Land Steiermark; Innsbruck: Technisches Büro für Umweltschutz, 2009.
- [7] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Bundesabfallwirtschaftsplan 2011; Wien, 22.07.2011.
- [8] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Tätigkeitsbericht 2006; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at>. Stand: September 2011.
- [9] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Tätigkeitsbericht 2007; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at>. Stand: September 2011.
- [10] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Tätigkeitsbericht 2008; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at>. Stand: September 2011.
- [11] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Tätigkeitsbericht 2009; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at>. Stand: September 2011.
- [12] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Tätigkeitsbericht 2010; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at>. Stand: September 2011.
- [13] Idealo Internet GmbH: Flat-TVs: Deutschland kauft Flachbildfernseher mit HD-Auflösung; Online im WWW unter URL: <http://www.flimmerkisten.de/statistik-flat-tvs-deutschland-flachbildfernseher-hdtv-2608.html>. Stand: September 2011.

- [14] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Bestimmung des Anteils der so genannten „historischen“ Elektro- und Elektronikaltgeräte gemäß Anhang 5 Z 3 der EAG-VO und laut Bescheid des Lebensministeriums vom 25. Juli 2005; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at/pdf/Anteil%20historische%20EAG%202011%20HJ.pdf>. Stand: September 2011.
- [15] Öhlinger, A.; Tesar, M.: Elektroaltgerätebehandlung in Österreich Zustandsbericht 2008; Wien, Umweltbundesamt, 2008.
- [16] Schlögl, M.: Recycling von Elektro- und Elektronikschrott; Würzburg: Vogel, 1995.
- [17] Arbeitsgruppe Umweltstatistik an der Technischen Universität Berlin (ARGUS): Umweltbundesamt Berlin: Stand der Entsorgung von elektrischen Kleingeräten in der Bundesrepublik Deutschland; Berlin: Umweltbundesamt Berlin, 1996.
- [18] Behrendt, S.; Scharp, M: Seltene Metalle - Maßnahmen und Konzepte zur Lösung des Problems konfliktverschärfender Rohstoffausbeutung am Beispiel Coltan; Berlin, Umweltbundesamt, 2007.
- [19] Universität für Bodenkultur Wien: Behandlung von Elektro - und Elektronikaltgeräten; Online im WWW unter URL: http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin/_/H81/H813/IKS_Files/Lehre/813339/EAG_EntsorgungsEntsorg.pdf. Stand: August 2011.
- [20] Universität für Bodenkultur und Technische Universität Wien: Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten, Stand der Verwertung und Mindestanforderungen für die Zukunft; Wien: Universität für Bodenkultur und Technische Universität Wien, 1995.
- [21] Rotter, V.S.: Ressourceneffizienz im Recycling am Beispiel Rückgewinnung seltener Metalle in Lorber et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 10. Depotech – Konferenz; Leoben: Montanuniversität Leoben, 2010.
- [22] Antrekowitsch, H., Luidold, S.: Rückgewinnung von Seltenen Erden aus Nickelmetallhydridakkumulatoren in Lorber et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 10. Depotech – Konferenz; Leoben: Montanuniversität Leoben, November 2010.
- [23] Hagelüken, C.: Edelmetallrecycling - Status und Entwicklungen; Online im WWW unter URL: http://www.preciousmetals.umicore.com/PMR/Media/sustainability/show_Edelmetallrecycling.pdf. Stand: September 2011.
- [24] ESG Edelmetall-Service GmbH & Co. KG: Preise und Sortierkriterien für Elektroschrott; Online im WWW unter URL:

- <http://www.scheideanstalt.de/informationen/aktuelle-ankaufskurse/elektroschrott-preise-und-sortierkriterien/>. Stand: September 2011.
- [25] MAIREC Edelmetallgesellschaft mbH: Recycling Elektronikschrott; Online im WWW unter [URL: http://www.mairec.com/recyclingmaterialien_elektronik.php?print=true&lang=DE&case=&id=](http://www.mairec.com/recyclingmaterialien_elektronik.php?print=true&lang=DE&case=&id=). Stand: September 2011.
- [26] Grieder Elektronik Bauteile AG: Quecksilberschalter; Online im WWW unter [URL: http://shop.griederbauteile.ch/product_info.php?products_id=14692](http://shop.griederbauteile.ch/product_info.php?products_id=14692). Stand: September 2011.
- [27] Wagner, P.J.: Leiterplatten; Online im WWW unter [URL: http://web.student.tuwien.ac.at/~e9825610/aux/leiterplatten.pdf](http://web.student.tuwien.ac.at/~e9825610/aux/leiterplatten.pdf). Stand: September 2011.
- [28] BGBl. II Nr. 159: Verordnung des Bundesministers für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altbatterien und -akkumulatoren (Batterienverordnung); 2008.
- [29] Hiller, F; Giercke, R.; Kiehne, H.: Entsorgung von Gerätebatterien: Primärbatterien und Kleinakkumulatoren; Ehningen bei Böblingen: Expert-Verlag, 1992.
- [30] Hiller, F.: Die Batterie und die Umwelt; Ehningen bei Böblingen: Expert-Verlag, 1990.
- [31] Baumann, W., Muth, A.: Abfallverhalten neuartiger Batterien - Mengen, Inhaltsstoffe, Verwertungs- und Behandlungsmethoden von Batterien, Forschungsbericht 103 10 610; Berlin: Umweltbundesamt, 1993.
- [32] Rentz, O.; Engels, B.; Schultmann, F.: Untersuchung von Batterieverwertungsverfahren und -anlagen hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Relevanz unter besonderer Berücksichtigung des Cadmiumproblems; Karlsruhe: Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung; 2001.
- [33] BatteryBack: Where do theygo; Online im WWW unter [URL: http://www.batteryback.org/battery-recycling.html](http://www.batteryback.org/battery-recycling.html). Stand: Oktober 2011.
- [34] TOXCO Inc.: TOXCO Inc.; Online im WWW unter [URL: http://www.toxco.com/](http://www.toxco.com/). Stand: Oktober 2011.
- [35] Umweltbundesamt: Batterien und Akkus - Das wollten Sie wissen! Fragen und Antworten zu Batterien, Akkus und Umwelt; Dessau: Umweltbundesamt, 2006.

- [36] Jungbluth, N., Kaspar, R., Schmied, M.: PCB-haltige Kleinkondensatoren in Haushaltsgroßgeräten aus den fünf neuen Bundesländern; Berlin: Technische Universität Berlin, 1994.
- [37] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Leitfaden für die Behandlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten; Wien, Dezember 1999
- [38] Directive 02/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L37/19, 2003.
- [39] Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Behandlungspflichten von Abfällen (Abfallbehandlungspflichtenverordnung); BGBl. II Nr. 459/2004.
- [40] BGBl. I Nr. 102: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002).
- [41] Richtlinie 08/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie) in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 312, 2008.
- [42] Wirtschaftskammer Wien: EDM-Aufwandersatzverordnung ab Jänner 2012; Online im WWW unter URL: <http://www.weka.at/abfallrecht/News/EDM-Aufwandersatzverordnung-ab-Jaenner-2012>. Stand: Jänner 2012.
- [43] Europäische Union: Verordnung 1013/2006 des Europäischen Parlaments und Rates über die Verbringung von Abfällen in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L190/1, 2006.
- [44] Umweltbundesamt: Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung; Online im WWW unter URL: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/basler_uebereinkommen89.pdf Stand: November 2011.
- [45] Umweltbundesamt: Beschluss des Rates C(2001)107/ENDGÜLTIG über die Kontrolle von grenzüberschreitenden Verbringungen von Abfällen zur Verwertung in: OECD-Ratsbeschluss C(2001)107, 2005.
- [46] BGBl. II Nr. 570: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung); 2003.

- [47] BGBl. II Nr. 227: Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Festsetzung von gefährlichen Abfällen und Problemstoffen (Festsetzungsverordnung gefährliche Abfälle); 1997.
- [48] BGBl. II Nr. 618: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Nachweispflicht für Abfälle (Abfallnachweisverordnung); 2003.
- [49] Europäische Union: Richtlinie 06/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG, in: Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 266/1, 2006.
- [50] BGBl. II Nr. 389: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung); 2001.
- [51] BGBl. II Nr. 39: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung); 2008.
- [52] Spitzbart, M.: Leitfaden für die Wiederverwendung von Elektroaltgeräten in Österreich; Wien: Lebensministerium, 2009.
- [53] Greenpeace: Giftiger Computerabfall macht die Menschen in Ghana krank; Online im WWW unter URL: <http://marktcheck.greenpeace.at/6933.html>. Stand: November 2011.
- [54] TechFieber Green: Studie des Öko-Instituts zeigt Chancen für nachhaltiges Elektro-Schrott-Recycling in Ghana; Online im WWW unter URL: <http://www.techfieber.de/green/2010/08/17/studie-oko-instituts-zeigt-chancen-fur-nachhaltiges-elektro-schrott-recycling-in-ghana>. Stand: November 2011.
- [55] Elektroaltgeräte-Koordinierungsstelle Austria GmbH: Tätigkeitsbericht 2008; Online im WWW unter URL: <http://www.eak-austria.at>. Stand: September 2011.
- [56] Trash Design Manufaktur: Tasche; Online im WWW unter URL: <http://www.trashdesign.at>. Stand: November 2011.
- [57] Berghofer, M.; Analyseergebnisse Saubermacher DienstleistungsAG; Gleisdorf: BT-Wolfgang Binder GmbH, 2011.
- [58] Rotter, S.; Janz, A.: Analyse von Material- und Aufbereitungskennzahlen für Elektronikschrott. In Lorber et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 8. Depotech-Konferenz; Leoben: Montanuniversität Leoben, 2006.

- [59] Kreindl, G.: Herausforderungen der NIR-Sortierung von gemischten Abfällen aus Industrie und Gewerbe. In Lorber et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 10. Depotech-Konferenz; Leoben: Montanuniversität Leoben, 2010.
- [60] Flamme, S.; Krämer, P.; Walter, G.: Gewinnung hochwertiger Kunststofffraktionen aus Elektroaltgeräten. In Lorber et al. (Hrsg.) Tagungsband zur 10. Depotech-Konferenz; Leoben: Montanuniversität Leoben, 2010.
- [61] Spitzbart, M.; Leitner, T.; Schlummer, M.; Mäurer, A.: Recycling von Mischkunststoffen aus der Elektroaltgeräteaufbereitung; Online im WWW unter URL: <http://www.ask-eu.de/Artikel/10487/Recycling-von-Mischkunststoffen-aus-der-Elektroaltger%C3%A4teaufbereitung.htm>. Stand: Jänner 2010.
- [62] Novak, E.: Verwertungsmöglichkeiten für ausgewählte Fraktionen aus der Demontage von Elektroaltgeräten - Kunststoffe; Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2001.
- [63] ÖNORM EN 14899: Charakterisierung von Abfällen - Probenahme von Abfällen; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 01.02.2006.
- [64] ÖNORM S 2123 - 1: Probenahme für Abfälle - Teil 1: Beprobung von Haufen; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 11.01.2003.
- [65] ÖNORM S 2123 - 3: Probenahme für Abfälle - Teil 3: Beprobung fester Abfälle aus Stoffströmen; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 11.01.2003
- [66] ÖNORM S 2123 - 5: Probenahme für Abfälle - Teil 5: Beprobungstückiger Abfälle; Wien: Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe: 12.01.2003.
- [67] Herrmann, H.J.: Die wunderbare Welt der Schüttgüter; Online im WWW unter URL: http://www.comphys.ethz.ch/hans/PhysBlatter11_95.pdf. Stand: November 2011
- [68] Aldrian, A.: Untersuchungsbericht - Bestimmung der Gesamtmetallgehalte verschiedener Elemente für mehrere Sortierfraktionen; Leoben: Institut für nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik, 2012.
- [69] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall: Laga PN 98 Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen, chemischen und biologischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Verwertung/Beseitigung von Abfällen; Mainz: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, 2001.
- [70] Arnold, C.: Synthetische und natürliche Zeolithe - ein Vergleich. Teil 2; Online im WWW unter URL: <http://arnold-chemie.biz/archives/67>. Stand: Dezember 2011.

- [71] Baument Justin Entrup: Zeolith; Online im WWW unter URL: <http://www.premiumzeolith.de/shop/>. Stand: Dezember 2011.
- [72] Alibaba.com Hong Kong Limited: Molekularsieb des Zeolith-3A für Äthanol Trockner; Online im WWW unter URL: <http://german.alibaba.com/product-gs/zeolite-3a-molecular-sieve-for-ethanol-drying-314460125.html>. Stand: Dezember 2011.
- [73] Gerald, G.: Prüfbericht A 10/7075; Unterpremstätten: Saubermacher DienstleistungsAG, 2010.
- [74] Schöffmann, H.: Gas-Bypass-Anlagen zur Beherrschung von Chlorid-Kreisläufen im Zementwerk; Online im WWW unter URL: <http://institute.unileoben.ac.at/ghiwww/pdf/schoeffmann.pdf>. Stand: Jänner 2012.

9.2 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
abh.	abhängig
Abs.	Absatz
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
Al	Aluminium
Anh.	Anhang
Art.	Artikel
As	Arsen
AVV	Abfallverbrennungsverordnung
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz
Br	Brom
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole
ca.	zirka
Cd	Cadmium
Cl	Chlor
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
Co	Kobalt
CPU	Central Processing Unit (Hauptprozessor)
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
EAG	Elektroaltgeräte
EDM	Elektronisches Datenmanagement
EKA	Elektroaltgerätekoordinierungsstelle Austria
EN	Europäische Norm

EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory (löschbarer programmierbarer Nur-Lese-Speicher)
et al.	et alia, lateinisch für „und andere“
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
Fe,	Eisen
Hg	Quecksilber
i.A.	im Allgemeinen
IAE	Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
ICs	Integrated Circuits
i.d.R	in der Regel
IT&T	Informationstechnik- und Telekommunikation
ISO	International Standardisation Organisation
Kap.	Kapitel
KEAG	Altelektrokleingeräte
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
Li	Lithium
LP	Leiterplatten
mg	Milligramm
mm	Millimeter
Mn	Mangan
NE	Nichteisen
Ni	Nickel
Nr.	Nummer
O	Oxid
O ₂	Dioxid
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ÖNORM	Österreichische Norm
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
PBB	Polybromiertes Biphenyl
PBDE	Polybromierter Diphenylether
POX	Purgeable Organic Halogen
Pb	Blei
PGM	Platinum group metals
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
QZ	Querstromzerspaner
RAM	Random access memory (Direktzugriffsspeicher, oft der Arbeitsspeicher)

RoHS	Restriction of Hazardous Substances
Sb	Antimon
SÖB	Sozialökonomischer Betrieb
t	Tonnen
TOC	Total Organic Carbon
TS	Trockensubstanz
TU	Technische Universität
u.ä.	und Ähnliches
UBA	Umweltbundesamt
u.U.	unter Umständen
u.v.a.	und vor allem
u.v.m.	und vieles mehr
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
z.Z.	zur Zeit
Zn	Zink
Zn/HgO	Zink-Quecksilberoxid
Zn/MnO ₂	Zink-Mangandioxid

9.3 Tabellen

Tabelle 1: Schadstoffe in EAG	12
Tabelle 2: Wertstoffe in Elektroaltgeräten	13
Tabelle 3: Verwertungsquoten für Elektrokleingeräte	23
Tabelle 4: Gehalte für die Annahme auf einer Massenabfalldeponie und auf einer Reststoffdeponie in mg/kg Trockensubstanz	28
Tabelle 5: Behandlungswege von Fraktionen der KEAG-Aufbereitung	33
Tabelle 6: Verwertungs- und Wiederverwendungsquoten KEAG in Österreich 2010	35
Tabelle 7: Outputfraktionen der Vorsortierung	37
Tabelle 8: Outputfraktion der Siebung	40
Tabelle 9: Outputfraktionen der Sortierung des magnetischen Stoffstroms.....	41
Tabelle 10: Outputfraktionen der Sortierung des nichtmagnetischen Stoffstroms	42
Tabelle 11: Probenahmen I bis VI	48
Tabelle 12: Fraktionen der Sortierung	49
Tabelle 13: Siebe, jeweils mit 10x20 cm-Winkel	53
Tabelle 14: Aufbereitete Proben	59

Tabelle 15: Analysefraktionen	64
Tabelle 16: Wassergehalt und Trockensubstanz der aus dem Stoffstrom entnommenen	65
Tabelle 17: Brennwert Feinfraktion	66
Tabelle 18: Metallgehalte im Rest der Feinfraktion und Vorgaben der Abfallverbrennungsverordnung für die Mitverbrennung von Abfällen, die keine Ersatzbrennstoffe sind	68
Tabelle 19: Chlor- und Bromgehalte	70
Tabelle 20: Datengrundlage der Einzelstoffströme	76

9.4 Abbildungen

Abbildung 1: Elektrokleingeräte	6
Abbildung 2: In Verkehr gesetzte Mengen an Elektrogeräten	8
Abbildung 3: Elektroaltgeräteaufkommen in Österreich	8
Abbildung 4: Anteil der Gerätegruppen am Gesamtaufkommen von EAG	9
Abbildung 5: Übersicht Erstbehandlung EAG 2006	10
Abbildung 6: Anteile von Anlagen nach Demontagetiefe, inkl. SÖB	11
Abbildung 7: Zusammensetzung Elektrokleingeräte	12
Abbildung 8: Typische Zusammensetzung von PC-Leiterplatten	14
Abbildung 9: Leiterplatten I, II und III (von links nach rechts)	15
Abbildung 10: Kunststoffprozessoren mit Goldfüßen, Keramikprozessoren mit Goldfüßen... ..	15
Abbildung 11: Kunststoffchips und Keramikchips	15
Abbildung 12: Stecker mit vergoldeten Pins	16
Abbildung 13: Quecksilberschalter	16
Abbildung 14: 2010 gesammelte Elektroaltgeräte inklusive Altbatterien	17
Abbildung 15: Durchschnittliche Bestandteile von Altbatterien.....	17
Abbildung 16: Hierarchie der österreichischen Abfallwirtschaft gemäß AWG-Novelle 2010..	20
Abbildung 17: Symbol für die getrennte Sammlung	22
Abbildung 18: Ein- und Austritt aus dem Abfallregime bei Wiederverwendung	29
Abbildung 19: Kupfergewinnung durch das Abbrennen von Kabeln in Ghana	30
Abbildung 20: Akteure und potentielle Vernetzungen im Second-Hand-Bereich.....	30
Abbildung 21: Taschen aus EAG.....	31
Abbildung 22: Zusammensetzung Kunststoffe aus KEAG	32

Abbildung 23: Elektrokleingerätebehandlungsanlage,6 (2. Zerkleinerungsstufe) in Planung	36
Abbildung 24: Vorsortierung am Boden der Halle	37
Abbildung 25: Ablauf einer Abfalluntersuchung	44
Abbildung 26: Durchlauf mit 40 cm Kunststofflineal	46
Abbildung 27: Probenahme Durchlauf	47
Abbildung 28: Beprobung der Fraktionen Leiterplatten, Aluminium und Eisen	47
Abbildung 29: Massenanteile der Fraktionen Probenahmen I-IV und Vergleich mit den Jahresbilanzdaten	48
Abbildung 30: Übersicht Probenahmen und Analyseverfahren	49
Abbildung 31: Durchlauf sortiert exklusive Sortierrest.....	52
Abbildung 32: Metall-Kunststoff-Verbunde: Vergleich Probe V (links) und VI (rechts).....	52
Abbildung 33: Korngrößenverteilung Sortierrest	54
Abbildung 34: Sortierung des Sortierrests ausgenommen <10 mm	55
Abbildung 35: Endergebnis Sortierung	56
Abbildung 36: Anteil an Wertfraktionen im Durchlauf.....	57
Abbildung 37: Proben V (4 kg) und VI (17 kg) vor Verjüngung.....	58
Abbildung 38: Magnet zur Trennung der Metalle	63
Abbildung 39: Natürlich gebrochener und synthetischer Zeolith	64
Abbildung 40: Metallgehalte <12 mm, Aluminium wurde bei der Voranalyse nicht analysiert	67
Abbildung 41: Durchschnittliche Metallgehalte <12 mm.....	67
Abbildung 42: Verteilung von Blei in Feinfraktion.....	69
Abbildung 43: Verteilung von Kobalt in der Feinfraktion.....	69
Abbildung 44: Transferfunktion am Beispiel eines Prozesses mit zwei Inputgrößen und drei Outputgrößen	72
Abbildung 45: Darstellung aller Stoffströme in kg/h	73
Abbildung 46: Darstellung aller Stoffströme in %	74
Abbildung 47: Stoffliche Zusammensetzung des Durchlaufs	75
Abbildung 48: Eisenströme, Fe ... Verwertung, <u>Fe</u> ... Potential.....	77
Abbildung 49: Eisenströme in kg/h und %	78
Abbildung 50: Kupferströme, Cu ... Verwertung, <u>Cu</u> ... Potential	79
Abbildung 51: Kupferströme in kg/h und %.....	80

Anhang A - Jahresdaten EAG-Behandlungsanlage

	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Summe	kg/h	%
Kabel	12625	12376	14030	15526	16645	15038	86240	139,73	4,03
Restmüll	10760	8698	8714	6350	7607	7383	49512	80,22	2,31
Siebfraktion	19300	1000	2000	1000	500	500	24300	39,37	1,13
Eisen-Kupferverbunde	11600	30000	23230	29090	32740	32858	159518	258,45	7,45
Metal-Leiterplatten-Verbunde	12360	15040	18180	19320	20800	27382	113082	183,22	5,28
Eisenschrott	89750	117580	123290	115980	141460	144580	732640	1187,04	34,22
Batterien unsortiert		150	-7	815	750	750	2458	3,98	0,11
Kondensatoren		180	885	645	880	590	3180	5,15	0,15
Leiterplatten	6990	6920	4060	3340	3799	3730	28839	46,73	1,35
Nirosta	3090	2250	2500	4430	3070	3180	18520	30,01	0,86
Alu	6810	6000	6140	9100	9960	8900	46910	76,00	2,19
Überlauf	91950	127050	135420	135280	162520	172399	824619	1336,06	38,51
Fractionen Bodensortierung									
Kunststoffe stoffliche Verwertung	842	554	8419	1133	670	2238	13856	22,45	0,65
Kunststoffe thermische Verwertung	86	272	207	167	426	215	1373	2,22	0,06
Toner	712	1030	1825	874	1434	1097	6972	11,30	0,33
Holz behandelt	132	341	2147	2774	3016		8410	13,63	0,39
Holz unbehandelt	188	882	27		73	3656	4826	7,82	0,23
Papier, Kartonagen	663	387	537	948	825	553	3913	6,34	0,18
Fractionen mit sehr geringem Aufkommen									
Bleiakkus		3056	3294	861	1990	1150	10351	16,77	0,48
NiMh - Akkus					534	430	964	1,56	0,05
NiCd - Akkus					647	0	647	1,05	0,03
Summe	267858	333766	354898	347633	410346	426629	2141130	3469,10	100,00

Anhang B - Probenahmen

Probenahme	I	II	III	IV
Datum	12.07.2011	12.07.2011	02.08.2011	03.08.2011
Beginn	07:20	08:10	10:40	10:00
Ende	07:30	08:20	10:56	10:13
Dauer	00:10	00:10	00:16	00:13
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Kabel	12,5	9	11	6,5
Sonstiges	4,5	4	8	5
Feinfraktion	4,5	2,5	2,5	4,5
Eisen-Kupfer-Verbunde	55,5	58	96	67,5
Metall-Leiterplatten-Verbunde	35,5	18,5	53	37,5
Eisenschrott	270	270	450	280
Batterien	0,5	1	1,5	1
Kondensatoren	3	0,5	2	1,5
Leiterplatten	12	9	14	13,5
Nirosta	4,5	10	3	6,5
Alu	18,5	13,5	22	25,5
Durchlauf	290	270	530	440
Masse gesamt	711	666	1193	889

Normiert auf Masse [Gew.%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Kabel	1,76	1,35	0,92	0,73
Sonstiges	0,63	0,60	0,67	0,56
Feinfraktion	0,63	0,38	0,21	0,51
Eisen-Kupfer-Verbunde	7,81	8,71	8,05	7,59
Metall-Leiterplatten-Verbunde	4,99	2,78	4,44	4,22
Eisenschrott	37,97	40,54	37,72	31,50
Batterien	0,07	0,15	0,13	0,11
Kondensatoren	0,42	0,08	0,17	0,17
Leiterplatten	1,69	1,35	1,17	1,52
Nirosta	0,63	1,50	0,25	0,73
Alu	2,60	2,03	1,84	2,87
Durchlauf	40,79	40,54	44,43	49,49

Anhang C - Sortierung

Probenahme	II	V	VI
Sortierung Durchlauf	07.09.2011	20.09.2011	20.09.2011
Masse gesamt [kg]	268,2	146,1	167,6
	[kg]	[kg]	[kg]
Kunststoffe hell	25,9	22,2	15,7
Kunststoffe dunkel	32,4	30,6	17,8
Kunststoffe bunt	41,6	31,7	37,4
Gefährlicher Abfall	1,7	1,1	2,4
Leiterplatten	5,2	4	6,8
Kabel	3,7	1,6	3,2
Aluminium	7,7	10,2	12,3
Eisen	4,4	2,2	1,4
Kupfer	2,1	1,4	2,1
Metall-Kunststoff-Verbunde	4,5	13,5	4,7
Eisen-Kupfer-Verbunde	3,5	2,1	1,7
Nichteisenmetalle und -Verbunde	6,5	4	2,2
Sonstiges	14,6	9,1	9
Sortierrest	114,4	12,4	50,9

Gew.%	[%]	[%]	[%]
Kunststoffe hell	9,66	15,20	9,37
Kunststoffe dunkel	12,08	20,94	10,62
Kunststoffe bunt	15,51	21,70	22,32
Gefährlicher Abfall	0,63	0,75	1,43
Leiterplatten	1,94	2,74	4,06
Kabel	1,38	1,10	1,91
Aluminium	2,87	6,98	7,34
Eisen	1,64	1,51	0,84
Kupfer	0,78	0,96	1,25
Metall-Kunststoff-Verbunde	1,68	9,24	2,80
Eisen-Kupfer-Verbunde	1,30	1,44	1,01
Nichteisenmetalle und -Verbunde	2,42	2,74	1,31
Sonstiges	5,44	6,23	5,37
Sortierrest	42,65	8,49	30,37

Anhang D - Siebung und Sortierung Sortierrest

Sortierrest	V	VI	V	VI
Kornklasse	[kg]	[kg]	%	%
<10 mm	3,996	17,376	34,745	36,567
<20 mm	4,200	18,889	36,519	39,751
<30 mm	2,603	8,993	22,633	18,925
<40 mm	0,577	1,558	5,017	3,279
>40 mm	0,125	0,702	1,087	1,477

Sortierrest V [kg]	<20 mm	<30 mm	<40 mm	>40 mm
Kunststoffe hell	0,2634	0,2803	0,0899	0,0116
Kunststoffe dunkel	0,2651	0,2147	0,0893	0,033
Kunststoffe bunt	0,1817	0,1949	0,0294	0,0111
Gefährlicher Abfall				
Leiterplatten	0,0611	0,0543	0,0046	
Kabel	0,0075	0,0142	0,0204	0,0106
Aluminium	0,034	0,0364	0,0817	0,004
Eisen	0,046	0,0633	0,0239	
Kupfer	0,0013	0,0013	0,0021	0,0045
Metall-Kunststoff-Verbunde	0,0648	0,1627	0,12811	0,0287
Eisen-Kupfer-Verbunde		0,0323		
Nichteisenmetalle und -Verbunde	0,0081	0,004		
Sonstiges	0,18	0,1016	0,1009	0,0216

Sortierrest VI [kg]	<20 mm	<30 mm	<40 mm	>40 mm
Kunststoffe hell	0,5973	0,6327	0,3888	0,1008
Kunststoffe dunkel	0,583	0,6225	0,3297	0,0239
Kunststoffe bunt	0,3447	0,3108	0,1197	0,0335
Gefährlicher Abfall	0,0125			
Leiterplatten	0,1927	0,0925	0,0336	0,0116
Kabel	0,0106	0,0244	0,0197	0,0584
Aluminium	0,0763	0,0987	0,1445	0,0116
Eisen	0,1226	0,1587	0,0185	0,0354
Kupfer	0,0091	0,0058	0,0018	0,0028
Metall-Kunststoff-Verbunde	0,1039	0,1402	0,194	0,2974
Eisen-Kupfer-Verbunde	0,0541	0,0609	0,0334	
Nichteisenmetalle und -Verbunde	0,0308			
Sonstiges	0,344	0,2787	0,2668	0,1231

Anhang E - Laboranalyse

Probenaufbereitung	<10 mm V	<10 mm VI	<12 mm VII	<12 mm VIII
Fraktion	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Glas	0,134357	0,055565	0,136512	0,127861
Inertes	0,039633	0,032901	0,078149	0,068172
Kupfer	0,00401	0,006297	0,002582	0,002173
Metalle und Metallverbunde Fe	0,032123	0,055892	0,132523	0,128226
Metalle und Metallverbunde NE	0,051984	0,053992	0,087675	0,077199
Rest	0,774	0,691	0,6443	0,5913
Gesamt	1,036107	0,895647	1,081741	0,994931

Rest	<10 mm V	<10 mm VI	<12 mm VII	<12 mm VIII
	[%]	[%]	[%]	[%]
Wassergehalt	0,6	0,6	0,6	1,2
Trockensubstanz	99,4	99,4	99,4	98,8
	[J/g]	[J/g]	[J/g]	[J/g]
Heizwert	11400	15100	13000	12900
Brennwert	12500	16500	14200	14300
	[mg/kg TS]	[mg/kg TS]	[mg/kg TS]	[mg/kg TS]
Cl	5160	7560	5940	4940
Br	2230	6580	4790	3330
Al	9300	11300	11500	10200
Zn	5400	6400	6200	6800
Fe	27900	27100	35500	31400
Cu	7000	8300	6700	10200
Ni	616	870	912	793
Cr	255	309	226	236
As	23	27	24	328
Cd	43	81	68	69
Sb	1060	1660	1790	1770
Hg	13	15	8	10
Co	79	80	62	62
Pb	8620	8370	16200	15800
Fe-Fraktion				
Al	31100	30400	15100	1900
Zn	51800	8000	13800	2800
Pb	1520	4460	6400	800
Co	161	619	373	114
Fe	221000	261000	916000	172000
Cu	72400	24100	30200	6300
NE-Fraktion				
Al	196000	48000	116000	102000
Zn	101000	60500	43800	116000
Pb	9790	4020	10900	11500

Co	2730	28	84	21
Fe	62200	8000	55500	86500
Cu	196000	185000	149000	252000
Cu-Fraktion				
Al	330	500	11300	8800
Zn	630	100	7200	5500
Pb	69	143	2300	3600
Co	10	1,4	10	45
Fe	530	400	3100	2500
Cu	221000	284000	750000	546000