

## ELEKTRO- UND ELEKTRONIKALTGERÄTE

### RELEVANZ DES ABFALLSTROMS:

Elektro- und Elektronikaltgeräte (EAG) sind Produkte bzw. enthalten Abfallbestandteile, die durch gefährliche Inhaltstoffe besonders umweltkritisch sind aber auch ein hohes Wertstoffpotential besitzen und somit für eine getrennte Erfassung und Behandlung vorzusehen sind. Im Bereich der EU wurden für diesen Produktstrom Anforderungen an die getrennte Sammlung und Behandlung in einer eigenständigen Richtlinie formuliert und Regelungen für die Wahrnehmung der Produzentenverantwortung getroffen.

### ZUSAMMENSETZUNG UND WESENTLICHE STOFFKOMPONENTEN

Unter dem Sammelbegriff Elektro- und Elektronikaltgeräte wird eine Vielzahl von Geräten, deren sich der Besitzer entledigt hat, zusammengefasst. Eine Klassifizierung erfolgt entsprechend der Europäischen Richtlinie über Elektro- und Elektronikaltgeräte in 10 unterschiedliche Kategorien, wobei die Materialzusammensetzung je Gerätetyp schwankt.

1. Haushaltsgroßgeräte (HHGG)
2. Haushaltskleingeräte (HHKG)
3. IT- und Telekommunikationsgeräte (ICT)
4. Geräte der Unterhaltungselektronik und Photovoltaikmodule
5. Beleuchtungskörper
6. Elektrische und elektronische Werkzeuge
7. Spielzeug sowie Sport- und Freizeitgeräte
8. Medizinische Geräte
9. Überwachungs- und Kontrollinstrumente
10. Ausgabeautomaten

Tabelle 1 zeigt Orientierungswerte für die Zusammensetzung von Haushaltsgroßgeräten (u. a. Waschmaschinen, Backofen etc.), Haushaltskleingeräten (Toaster, Nähmaschine etc.) sowie Geräten der Informations- und Telekommunikation (Telefon, Faxgerät, Drucker etc.).

Tabelle 1: Zusammensetzung verschiedener elektronischer Obergruppen (nach EMPA 2009)

Material	Haushaltsgroßgeräte	Haushaltskleingeräte	Geräte Inform./Telekommun.
Eisen	43	29	36
Aluminium	14	9,3	5
Kupfer	12	17	4
Kunststoff	19	37	12
Glas	0,017	0,16	0,3
Gold	6,7E <sup>-07</sup>	6,1E <sup>-07</sup>	2,4E <sup>-04</sup>
Silber	7,7E <sup>-06</sup>	7,0E <sup>-06</sup>	1,2E <sup>-03</sup>
Palladium	3,0E <sup>-07</sup>	32,4E <sup>-07</sup>	6,0E <sup>-05</sup>
Indium	0	0	5,0E <sup>-04</sup>
Blei	1,6	0,57	0,29
Cadmium	0,014	8,3E <sup>-03</sup>	0,018
Quecksilber	3,8E <sup>-05</sup>	1,9E <sup>-05</sup>	7,0E <sup>-05</sup>
Kunststoff „bromiert“	0,29	0,75	18
Bleiglas	0	0	19
Sonstiges	10	6,9	5,7

### RECHTSGRUNDLAGEN MIT GELTUNG FÜR EU

Die derzeitige Rahmengesetzgebung für diese Abfallart bilden die novellierte Richtlinie [2012/19/EU](#) über Elektro- und Elektronikaltgeräte (WEEE) vom 04. Juli 2012 und die ebenfalls überarbeitete Richtlinie [2011/65/EU](#) zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten vom 03. Januar 2013 (RoHS). Zudem müssen die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union aller 2 Jahre einen Bericht entsprechend der Kommissionsentscheidung [2005/369/EG](#) vorlegen, der über die im Mitgliedsstaat erzielten Sammel-, Verwertungs- und Recyclingquoten informiert.

**WESENTLICHE ANFORDERUNGEN BZW. GRUNDLAGEN FÜR DEN UMGANG MIT DEM ABFALLSTROM**

Als ein wesentliches Element zum umweltgerechten Umgang mit Elektro- und Elektronikaltgeräten sollten, wie in den genannten Richtlinien festgelegt, die Nutzung verschiedener schadstoffhaltiger Substanzen in diesen Produkten eingeschränkt und Vorgaben für deren getrennte Sammlung und Behandlung gemacht werden. Zur Umsetzung einer Produktverantwortung sind dabei auch Mechanismen für die Rücknahme der gebrauchten Geräte über die Hersteller und Systeme zur Behandlung dieser Produkte zu veranlassen. Die Hersteller sind gesetzlich verpflichtet, die Getrenntsammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten auf den Inverkehr gebrachten Produkten mit dem in Abbildung 1 dargestellten Symbol zu kennzeichnen und die Inverkehr gebrachten Geräte nach der Gebrauchsphase wieder zurückzunehmen und einer adäquaten Verwertung zuzuführen. Die Rückgabemöglichkeiten sollen für den Endverbraucher kostenfrei sein. Wo, anders als in der EU, keine entsprechenden gesetzlichen Regelungen getroffen werden können, sollte zur Setzung eines Rückgabeanreizes und damit für eine wirksame Erfassung ähnlich verfahren werden.

Abbildung 1: Symbol / Kennzeichnungspflicht zur Getrenntsammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten



EU-Mitgliedsstaaten haben sicherzustellen, dass neue Elektro- und Elektronikgeräte seit dem 01. Juli 2006 kein Blei, Quecksilber, Cadmium, Chrom (VI) polybromiertes Biphenyl (PBB) bzw. polybromierte Diphenylether (PBDE) enthalten. Ausnahmen von der Verordnung z.B. für Leuchtstoffröhren, sind speziell im Anhang der Richtlinie [2011/65/EU](#) definiert.

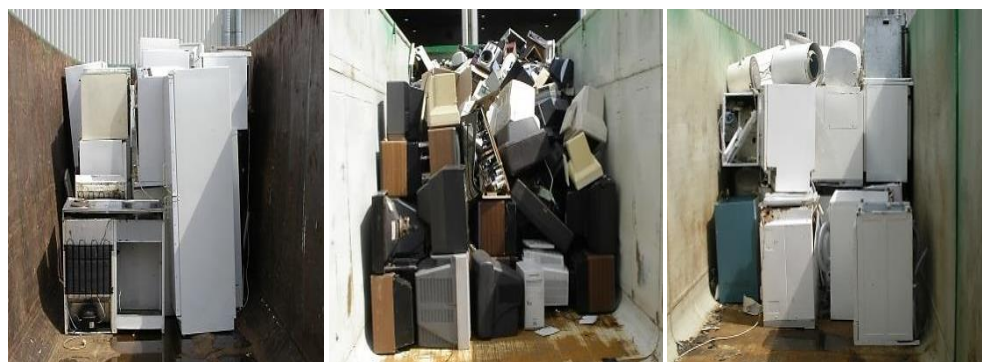
Unter Berücksichtigung technischer und wirtschaftlicher Erfahrungen sind Zielvorgaben für die Sammlung, Verwertung und Wiederverwendung von EAG regelmäßig zu prüfen und gegebenenfalls neu festzulegen. Aktuell sollen Verwertungsquoten je nach Gerätekategorie von 75 bis 85 Prozent und Recyclingquoten von 55 bis 80 Prozent erreicht werden. Zudem zielt die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikaltgeräten auf eine gesetzlich festgelegte Erfassung von 45% der durchschnittlich in den drei Vorjahren auf den Markt gebrachten Elektro- und Elektronikgerätemengen ab. Ab 2019 erhöht sich diese Sammelquote auf 65%.

**GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE ERFASSUNGS- WEGE UND - STRATEGIEN**

Als wirksame Wege zur getrennten Sammlung und Erfassung von Elektro- und Elektronikaltgeräten haben sich erwiesen:

- Rückgabemöglichkeit von Elektroaltgeräten bei Handelseinrichtungen durch gesetzliche Verpflichtung dieser (ggf. ab einer bestimmten Größe) oder per Rücknahmevereinbarungen des Handels auf freiwilliger Basis
- Nutzung von Erfassungsmechanismen aufbauend auf kommunalen Sammelstellen (z.B. Wertstoffannahmestellen, siehe Abbildung 2) und selektiven Sammlungen (Straßensammlung/Abrufsystem):

Abbildung 2: Selektive Sammlung von Altgeräten auf einem Wertstoffhof in Abrollcontainern (Bildquellen: INTECUS GmbH)



- An öffentlichen Stellen ist die Nutzung separater Container (z.B. Abrollcontainer) oder solcher mit einer speziellen Aufteilung in verschiedene Sektionen für die getrennte Erfassung unterschiedlicher Fraktionen (z.B. Kühlgeräte, Leuchtstoffröhren, Fernsehgeräte, Haushaltsgeräte, Informations- und Telekommunikationsgeräte, Multimedia- und Unterhaltungsgeräte) empfohlen (Abbildung 2). Alternativ werden die Geräte nach Fraktionen getrennt z.B. bei der Wertstoffannahmestelle erfasst und zur Weiterverwertung bereitgestellt.

- Besondere Anforderungen sind an die Sammlung von Altgeräten mit Lithium-Ionen-Batterien zu stellen, da diese durch Lagerung und Transporteinwirkungen eine Selbstentzündungs- und Brandgefahr bergen

Für die in Deutschland per Gesetz festgelegte Realisierung der Rücknahmeverpflichtungen müssen sich Hersteller von Elektro- und Elektronikgeräten bei der stiftung elektro-altgeräte register (ear) registrieren lassen. Für die Hersteller von Gebrauchsgütern (b2c) ist hierbei die Stellung einer Garantie unabdingbare Voraussetzung: [www.stiftung-ear.de](http://www.stiftung-ear.de)

GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE BEHANDLUNGS- WEGE UND -STRATEGIEN

**Reparatur- und Aufarbeitungsprogramme**

Die Nutzung von Reparatur- und Aufarbeitungsmethoden sollte der bevorzugte Weg im Umgang mit Elektro- und Elektronikaltgeräten sein. Diese können in Abhängigkeit vom Zustand der erfassten Altgeräte in einem mehrstufigen Prozess zur Ausführung kommen. In Frage kommen dabei

- der Wiederverkauf von wiederverwendbaren Geräten nach Funktionsprüfung,
- die Aufarbeitung zur Weiternutzung, oder
- die vollständige Demontage einschließlich Rückgewinnung und Nutzung von brauchbaren Komponenten und Ersatzteilen.

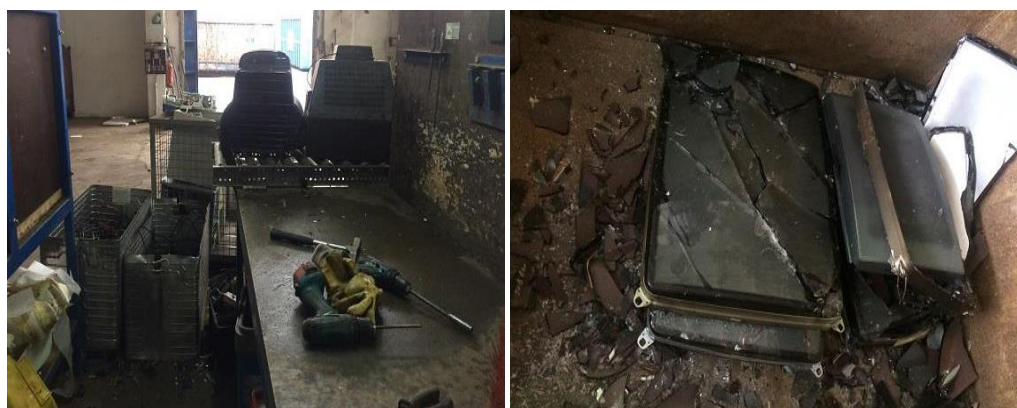
Ein erhebliches Gefahrenpotenzial beinhalten einfache Aufbereitungs- und Rückgewinnungstechniken die, wie häufig noch in weniger entwickelten Ländern zu beobachten, ohne die notwendigen Schutzvorkehrungen zur Anwendung gebracht werden (z.B. Abbrennen der PVC-Isolierungen von Kabeln im offenen Feuer, Auflösen von Leiterplatten in Säurebädern)!

**Demontage**

Die Demontage von Elektro- und Elektronikaltgeräten wird zur Abtrennung von gefährlichen Komponenten (z.B. polychloriertes Biphenyl, Kondensatoren, Quecksilber enthaltende Mess- und Kontrolltechnik) sowie den wiedergewinnbaren wertvollen Materialien, nutzbaren Komponenten und Metalle vom restlichen Material angewandt. Die Demontage erfolgt größtenteils manuell (Abbildung 3). Dabei werden üblicherweise die folgenden Fraktionen erzeugt:

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| - Eisen- und Nichteisenmetalle | - Bildschirmglas             |
| - Kabel                        | - Metall-Kunststoff-Verbunde |
| - Kunststoffe                  | - Leiterplatten und Platinen |
| - Gummi                        | - Batterien                  |
| - Holz                         | - gefährliche Bestandteile   |

Abbildung 3: Manueller Zerlegeplatz für Monitore (links) und demontiertes Bildschirmglas (rechts) (Bildquelle links & rechts: INTECUS GmbH)



Der Grad der Abtrennung hängt von den vorhandenen Recyclingmöglichkeiten ab. Für einige Fraktionen können die in anderen Datenblättern erläuterten Verwertungs- und Beseitigungswege genutzt werden.

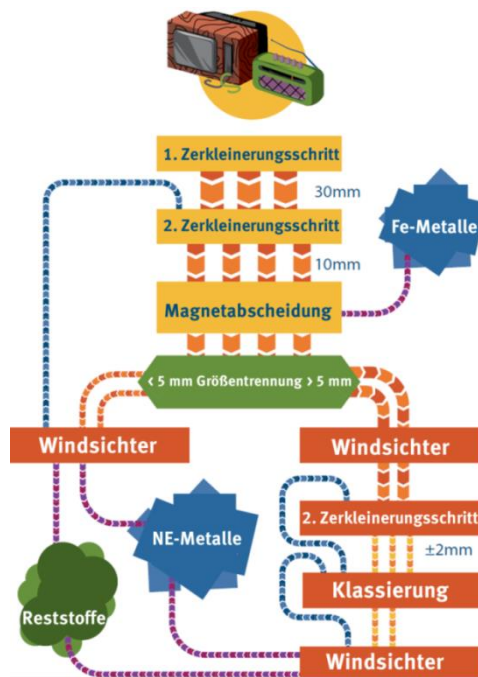
**Aufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten**

Die Aufbereitung beinhaltet mechanische und chemische Prozesse, welche eine weitere Verwertung von Materialien erlauben.

- *Mechanische Prozesse:*

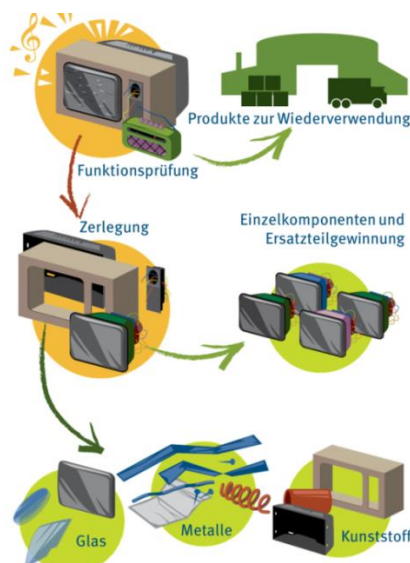
Mechanische Prozesse werden vorzugsweise für die Trennung von Metall-Kunststoff Verbunden mit dem Ziel des Recyclings und der Materialverwertung durchgeführt.

Abbildung 4: Fließschema eines mechanischen Aufbereitungsprozesses



Die Nutzung verschiedener Verwertungsoptionen lässt sich durch die Kombination unterschiedlicher Verfahren erreichen, integriert in eine Prozesskette unter einem Dach (z.B. Recyclingzentrum) wird daraus eine modern und effizient gestaltete Aufbereitung.

Abbildung 5: Prozesskombination in einem Altgerätezerlegungsbetrieb



Bei einer solchen Variante kann der Zerlegungsbetrieb auf mehrere Arbeitsstationen verteilt werden die sich z.B. auf Fraktionen bzw. Arbeitsgänge wie Monitore, Computer, Großgeräte und Zerlegung mittels Schneidbrenntechnik oder Plasmabrenner spezialisieren.

Zusätzlich können auch komplex zusammengesetzte Elektro- und Elektronikaltgeräten bzw. Fraktionen daraus (z.B. Leiterplatten) effizient aufbereitet werden durch den Einsatz von speziell an die Elektroaltgeräteaufbereitung angepasste Zerkleinerungsaggregate sowie anschließende magnetische Trennung als auch Sichtungs- und Klassierprozesse (ballistische Sichtung, Windsichtung u. a.). Die Kombination der Verfahren ermöglicht es nahezu alle Arten von Elektro- und Elektronikaltgeräten zu behandeln und Wertstoffe mit hoher Effizienz und Reinheit rückzugewinnen.

Die Qualitäten der in modernen mechanischen Aufbereitungsanlagen erzeugten Stoffströme können wie folgt beschrieben werden:

Tabelle 2: Qualitäten von erzeugten Stoffströmen mechanischer Aufbereitungsanlagen

Erzeugte Stoffströme	Eisen [Ma.-%]	Nichteisen [Ma.-%]	Nichtmetall [Ma.-%]
Eisenmetalle	95–99	0,1–5	0,5–5
Nichteisenmetalle		>95	0,5
Kunststoffe und Staub	0–2	1–5	>95

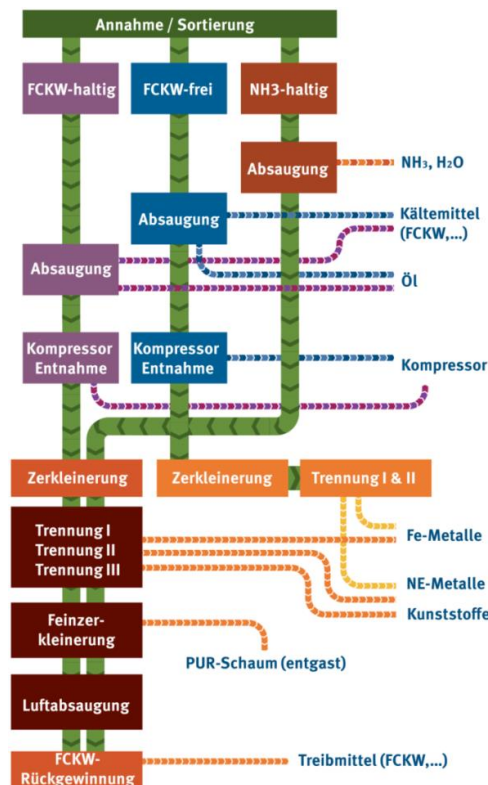
GEEIGNETE BZW. EMPFOHLENE RECYCLINGWEGE UND -STRATEGIEN

Im Folgenden werden für ausgewählte Produktgruppen verfügbare Recyclingmöglichkeiten bzw. -verfahren beschrieben.

**Kühlgeräte**

Bei der Aufbereitung der Kühlgeräte ist besonders auf die Rückgewinnung der enthaltenen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) bzw. bei neueren Geräten auf die kohlenwasserstoffgeschäumten Kühlmittel (VOC) zu achten. Das Recycling erfolgt in geschlossenen Anlagen, um ein Entweichen der Kühlmittel zu verhindern. Ein daraus resultierendes Prozessschema ist nachfolgend wiedergegeben:

Abbildung 6: Ablaufschema VOC-Anlage (Schema modifiziert nach R-plus Recycling GmbH)

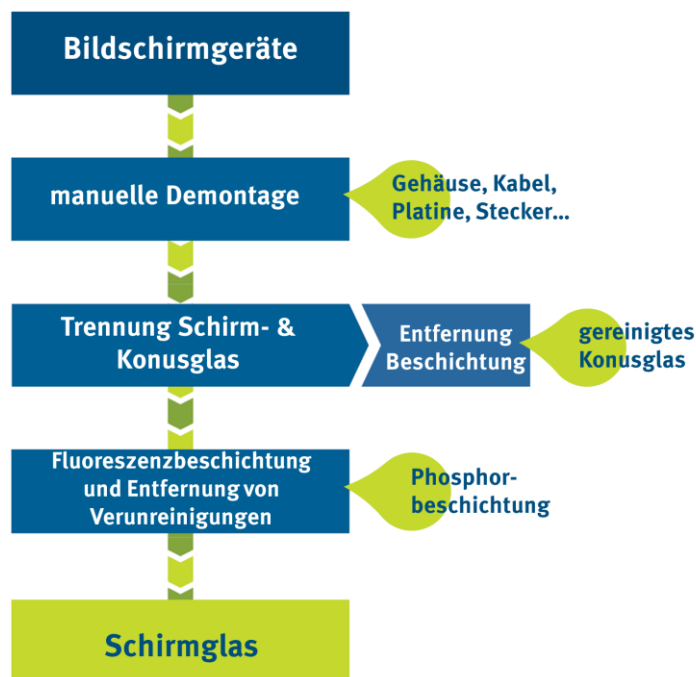


**Bildschirmgeräte**

Monitore und Fernsehgeräte mit Kathodenstrahlröhren bestehen im Wesentlichen aus Glas, welches Bleioxide zum Schutz vor Strahlung enthält. Andere Schwermetalloxide, wie z.B. Cadmium, wurden manchmal in der Phosphorbeschichtung eingesetzt. Weil das Blei sich vom Glas lösen kann und Boden und Grundwasser belastet, ist eine Ablagerung auf Depo-nien aus Umweltsicht nicht erstrebenswert.

Die beste Alternative zur Behandlung von Bildschirmgläsern ist die Trennung der unterschiedlichen Arten von Glas (Schirm- und Konusglas, da diese unterschiedliche Qualitäten aufweisen), die Entfernung der Beschichtungen, Zerkleinerung Entfernung von Metallanhaftungen und der Wiedereinsatz in der Glasindustrie zur Herstellung neuer Bildschirme. Als Anforderung zum Wiedereinsatz des Glasbruchs müssen die Schirm- und Konusgläser in bestimmte Qualitäten sortiert werden, welche mit den Anforderungen der Glasindustrie übereinstimmen. Abgelehnt werden Gläser, welche schadstoffhaltige Materialien enthalten. Beschichtungen im Schirmglas enthalten oft Zinksulfide oder Blei und Cadmium. Ein Nass/Trockenvakuum mit einer hocheffizienten Staubabtrennung oder spezielle Filter werden bei der Entfernung der potenziell schadstoffhaltigen Beschichtungen eingesetzt. Zum Einsatz in den Glasfabriken müssen Eisen- und Nichteisenmetalle vom Glas entfernt sein. Dies erfolgt mit Hilfe von Überbandmagneten für die Eisenmetalle und einem vertikal eingesetzten Nichteisenabscheider an den zerkleinerten Glasscherben. Das erzeugte Produkt ist gereinigt und für den Schmelzprozess bereit.

Abbildung 7: Vereinfachtes Aufbereitungsschema für Bildschirmgeräte



Die aktuell marktgängigen Bildschirmgeräte (Flachbildschirme) funktionieren auf Basis einer Flüssigkristallanzeige (Liquid Crystal Display, LCD) bzw. aus vielen kleinen Gasentladungslampen oder Leuchtdioden zur Hintergrundbeleuchtung (Light Emitting Diode, LED). Die Aufbereitung der Flachbildschirme erfolgt beginnend mit einer manuellen Demontage zur Entnahme der Gasentladungslampen (siehe Datenblatt „[Altlampen](#)“), um Quecksilberemissionen durch die Zerstörung der Lampen zu vermeiden. Alternativ gibt es bereits kleinere Anlagen, in denen die Flachbildschirme unter Absaugung der Quecksilberemissionen geschreddert und über eine automatisierte Sortierung in die verschiedenen Fraktionen getrennt werden.

**Kunststoffteile**

Eine wirksame Kunststoffrückgewinnung kann durch folgende Prozessschritte realisiert werden:

1. Zerkleinern großer Gehäuse in kleine Stücke und Reinigung (Entfernung von Verunreinigungen)
2. Trennung nach Kunststoffsorten. Dies kann durch einen 3-stufigen Dichtentrennprozess erfolgen (redundanter Hydrozyklonprozess, 2. redundanter Hydrozyklonprozess, Schwimm-Sink-Trennung) an den sich eine elektrostatische Trennung als abschließender Schritt anschließt.
3. Charakterisierung und Identifikation von Kunststoffteilen, Ermittlung von physikalischen Besonderheiten des separierten Kunststoffes

Nach der Durchführung aller Prozessstufen können 6 Output-Ströme erzeugt werden:

- Gemischte Polyethylene und Polypropylen
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS)
- schlagfestes Polystyrol (HIPS)
- Polycarbonate
- Polycarbonate ABS gemischt
- Andere Kunststoffe wie z.B. Nylon oder PVC

Das gemischte Polyethylen und Polypropylen kann ohne weitere Trennung oder Aufbereitung in den Markt gegeben werden. HIPS, ABS, Polycarbonate und Polycarbonate/ABS sind begehrte Wertstoffe und können anstelle von Rohmaterial genutzt werden.

**Leiterplatten und komplexe Komponenten**

Die metallhaltigen Ströme bei der Zerlegung elektronischer Altgeräte umfassen insbesondere Leiterplatten und komplexe Komponenten. Komplexe Komponenten sind z.B. Laufwerke, Gehäuse, Drucker, Tastaturen. Leiterplatten enthalten die wertvollsten Metalle jedoch werden auch die meisten toxischen Metalle in elektronischen Abfällen gefunden. Der Edelmetallgehalt in Leiterplatten ist 10 bis 100-fach größer als der einer gleichen Menge des entsprechenden Roherzes. Unterschiedliche Methoden und Ausrüstungen werden benötigt, um Leiterplatten und komplexe Komponenten zu recyceln.

Die meisten Praktiken zur Aufbereitung komplexer Komponenten starten mit der Demontage und nachfolgender Zerkleinerung und /oder Sortierschritten. Leiterplatten indes werden zur Wiedergewinnung von Edelmetallen und Kupfer vielfach noch komplett in Kupferschmelzen gegeben. Dabei können auch toxische Stoffe zerstört bzw. unschädlich gemacht werden. Allerdings ist das Beschicken der Kupferschmelzen mit ganzen Leiterplatten nicht effizient, weil ungefähr 70 Masse-% nichtmetallische Materialien sind.

Eine signifikante Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der Metallgewinnung kann durch eine Trennung der Metalle und Nichtmetalle durch verschiedene Prozesse erreicht werden, wobei auch die Reinheit der Materialien vor dem Einsatz in den Schmelzen verbessert wird. Techniken aus der Erzaufbereitung und mineralogischen Verarbeitungsindustrie können dazu genutzt werden. Diese Techniken beinhalten Schritte der Zerkleinerung, Siebung, Trennung und Anreicherung welche zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften führen und eine wirtschaftliche Rückgewinnung der verschiedenen Metalle ermöglichen.

Zur Wiedergewinnung verschiedenster Metalle werden Schmelzen mit differenzierten Behandlungsschritten (Raffinerieprozess) genutzt. Edelmetalle werden von anderen Metallen in der Schmelze getrennt, wobei sich letztere in der bleihaltigen Schlacke konzentrieren. Das Kupfer und die Edelmetalle werden im nächsten Schritt durch Auslaugung und elektrolytische Prozesse getrennt. In der anschließenden Edelmetallraffinerie werden reine Edelmetalle erzeugt. In parallelen Schritten werden Metalle, wie Nickel oder Blei gewonnen.

**AUSWIRKUNGEN  
AUF ANDERE  
BEREICHE**

Die Aufbereitung von Elektroaltgeräten birgt, insbesondere im Bereich der Reparatur, Zerlegung und Rückgewinnung von Ersatzteilen und wiederverkaufsfähigen Komponenten, hohe Beschäftigungspotenziale. Nach einfachem Anlernen können vor allem auch Menschen mit Behinderungen, weniger qualifizierte oder sozial benachteiligte Personen hierdurch eine Arbeitstätigkeit erfahren. Spezielle Werkstätten, integrative und karitative Einrichtungen können in diesem Bereich tätig werden.

**REFERENZEN UND  
DIENSTLEISTER  
BZW. HERSTELLER**

*(wichtiger Hinweis:  
die Aufzählung von  
Firmen in dieser  
Übersicht erhebt  
keinen Anspruch auf  
Vollständigkeit)*

Wie in Europa so gibt es auch in Deutschland ein weites Netz an Zerlegungs- und Aufbereitungsbetrieben für Elektronikaltgeräte. Diese werden zum Teil von den Entsorgungsfirmen betrieben oder bilden eigenständige Unternehmen. Beispiele hierfür sind:

- Berliner Stadtreinigungsbetriebe, Berlin [www.bsr-online.de](http://www.bsr-online.de)
- REMONDIS Electrorecycling GmbH, Lünen [www.remondis.de](http://www.remondis.de)
- ALBA Electronics Recycling GmbH, Eppingen [www.alba.info/the-recycling-company.html](http://www.alba.info/the-recycling-company.html)
- GWAB Recycling-Zentrum, Wetzlar [www.gwab-recycling.de](http://www.gwab-recycling.de)
- Stena Recycling Sweden, Standort Wangerland [www.stenatechnoworld.com/de/](http://www.stenatechnoworld.com/de/)

Weitere Informationen für den Bereich des Elektro- und Elektronikgeräterecyclings und Auskünfte zu den hier tätigen Firmen die auch in großer Zahl von ihm vertreten werden, sind erhältlich beim:

- ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, e.V. [www.zvei.org](http://www.zvei.org)
- Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V. [www.bde.de](http://www.bde.de)
- Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. [www.bvse.de](http://www.bvse.de)