

LfU-3/1-4268

Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821/9071-0
Fax: 0821/9071-5553

Das Amt gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen
Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

Verfasser: Dr. Manfred Harant

Stand: Mai 2001

Bezug kostenlos

Gedruckt auf Recyclingpapier

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 |
| 2 | BEGRIFFSDEFINITION | 2 |
| 3 | AUFKOMMEN AN ELEKTRO- UND ELEKTRONIKALTGERÄTEN..... | 4 |
| 4 | ZUSAMMENSETZUNG VON EAG..... | 6 |
| 4.1 | Kleingeräte | 6 |
| 4.2 | Bildschirmgeräte..... | 7 |
| 4.3 | Haushaltsgroßgeräte | 8 |
| 4.4 | Kühlgeräte | 8 |
| 5 | ERFASSUNG | 10 |
| 5.1 | Kleingeräte und Bildschirmgeräte | 11 |
| 5.2 | Haushaltsgroßgeräte | 12 |
| 5.3 | Kühlgeräte..... | 13 |
| 6 | ZERLEGUNG UND FRAKTIONIERUNG | 16 |
| 6.1 | Kleingeräte | 16 |
| 6.2 | Bildschirmgeräte..... | 18 |
| 6.3 | Haushaltsgroßgeräte | 23 |
| 6.4 | Kühlgeräte | 24 |
| 7 | VERWERTUNG DER FRAKTIONEN | 26 |
| 7.1 | Eisen und Stahl | 26 |
| 7.2 | Kupfer | 26 |
| 7.3 | Aluminium..... | 27 |
| 7.4 | Bildröhren | 28 |

| | |
|--|-----------|
| 7.5 Kunststoffe | 33 |
| 7.5.1 Werkstoffliche Verwertung | 33 |
| 7.5.2 Rohstoffliche Verwertung | 34 |
| 7.5.3 Energetische Verwertung..... | 35 |
| 7.6 Leiterplatten..... | 36 |
| 7.6.1 Mechanische Verfahren | 37 |
| 7.6.2 Thermische Verfahren | 38 |
| 7.6.3 Hydrometallurgische Verfahren..... | 39 |
| 8 SCHADSTOFFE | 41 |
| 9 EMPFEHLUNGEN..... | 42 |
| LITERATURVERZEICHNIS | 44 |
| | |
| ANHANG | 47 |
| | |
| Rechnerisch ermitteltes Anfallpotenzial an Kleingeräten in den bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbänden und kommunal erfasste Mengen an Kleingeräten im Jahr 1999..... | 48 |
| Rechnerisch ermitteltes Anfallpotenzial an Großgeräten in den bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbänden im Vergleich zu den kommunal erfassten Mengen (geschätzt) an Großgeräten im Jahr 1999 | 50 |
| Rechnerisch ermitteltes Anfallpotenzial an Kühlgeräten in den bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbänden im Vergleich zu den kommunal erfassten Mengen an Kühlgeräten im Jahr 1999 | 52 |
| Jährliches Anfallpotenzial von Geräten der Unterhaltungselektronik in Bayern (Stück).. | 54 |
| Jährliches Anfallpotenzial von Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik in Bayern (Stück) | 54 |
| Jährliches Anfallpotenzial von Haushaltskleingeräten in Bayern (Stück)..... | 55 |
| Jährliches Anfallpotenzial von Haushaltsgroßgeräten in Bayern (Stück)..... | 55 |
| Entsorgungswegweiser der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen | 56 |
| Anhang II der LAGA-Richtlinie „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten“: Bauteile und Materialien | 58 |

1 Einleitung

Durch die zunehmende Ausstattung der privaten Haushalte mit Elektrogeräten und die gleichzeitig wachsende Anzahl der Haushalte ist absehbar, dass die zu entsorgende Menge an Elektro- und Elektronikgeräten (EAG) weiter ansteigen wird. Das jährliche Anfallpotenzial von Fernsehgeräten liegt beispielsweise unter der Annahme einer Lebensdauer der Geräte von 10 Jahren allein in Bayern bei etwa 759.000 Stück. Selbst bei einer dreissigjährigen Nutzungsdauer liegt das bayernweite Abfallpotenzial von Herden bei rund 172.000 Stück pro Jahr [1].

Die getrennte Sammlung von Elektro- und Elektronikgeräten wird in Bayern seit Anfang der 90er Jahre in zunehmendem Maße durchgeführt. Mittlerweile werden EAG in 82 entsorgungspflichtigen Körperschaften Bayerns gesammelt, wobei die Sammelstellen zumeist in den Wertstoffhöfen untergebracht sind. Die Mengen getrennt erfasster Elektroaltgeräte aus der kommunalen Sammlung sind in den vergangenen Jahren rapide angewachsen. Wurden 1994 erst ca. 2.600 Mg getrennt erfasst, so waren es 1999 bereits gut 13.500 Mg. Die getrennt erfasste Menge hat sich innerhalb von fünf Jahren damit mehr als verfünffacht.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über das Aufkommen, die Zusammensetzung, Inhaltsstoffe und die fachgerechte Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten. Informationen aus der Richtlinie „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten“ [2] der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), im nachfolgenden Text kurz EAG-Richtlinie genannt, werden dargestellt und erläutert. Eine Auswertung der Daten zur getrennten Sammlung von EAG aus der Abfallbilanz 1999 zeigt den Stand der kommunalen Sammlung. Der Bericht zeigt ferner die Gesichtspunkte und Argumente auf, die für eine getrennte Erfassung und Entsorgung von EAG sprechen.

2 Begriffsdefinition

Unter Elektro- und Elektronikaltgeräten versteht man Geräte, deren funktionsbestimmender Teil aus einer elektrischen Einheit besteht oder deren Funktion von elektronischen Bauteilen bestimmt wird (z.B. Platinen, Transistoren, Speicherchips, Prozessoren) und die im Sinne des § 3 Abs. 2 Satz 1 des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes Abfall sind.

Elektro- und Elektronikaltgeräte werden gemäß der EAG-Richtlinie [2] in folgende Kategorien unterteilt:

Geräte der Informations-, Büro- und Kommunikationstechnik (IT-Geräte)

wie Großrechner, Netzwerk Zubringer, stationäre Arbeitsplatzcomputer, tragbare Tischcomputer, Bildschirme, Drucker, Grafikdrucker, Kopierer, andere informationstechnischen Zwecken dienende Ausgabegeräte, Lesegeräte mit optischen Abtasteinrichtungen, Tastaturen, andere informationstechnischen Zwecken dienende Eingabegeräte, elektrische Schreibmaschinen, Fernkopiergeräte, Telefonendgeräte, Mobiltelefone und Telefonanlagen, Geräte der Präsentationstechnik, Kombinationen aus mehreren der vorgenannten Geräte, Geräte der Daten- und Informationsaufzeichnung, Navigationstechnikgeräte, Funkgeräte.

Geräte der Unterhaltungselektronik (sog. Braune Ware)

wie Fernsehgeräte, stationäre Video- und Audiogeräte (Videorecorder und ähnliche Geräte mit unterschiedlichen Speichermedien, Verstärker, Plattenspieler, CD-Player und -Recorder und ähnliche Geräte mit unterschiedlichen Speichermedien, Radiogeräte, Tuner, Kassettenrecorder und ähnliche Geräte mit unterschiedlichen Speichermedien, Kombinationen aus mehreren der vorgenannten Geräte), Musikinstrumente, Geräte der Bild- und Tonaufzeichnung und -wiedergabe mit unterschiedlichen Speichermedien, Satellitenempfänger, Kombinationen aus mehreren der vorgenannten Geräte.

Haushaltsgroßgeräte (sog. Weiße Ware)

wie Herde, Elektrische Heizplatten, Backöfen, Dunstabzugshauben, Mikrowellen, Geschirrspüler, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Wäscheschleudern, Heißwassergeräte, Bügelmaschinen, Wäschemangeln, Kälte- und Klimageräte, Kombinationen aus mehreren der genannten Geräte, Gartengeräte, Grillgeräte, Ventilatoren, Staubsauger, elektrische Öfen, Nachtspeicheröfen.

Kleingeräte

alle sonstigen anfallenden mülltonnengängigen Kleingeräte wie Rasierer, elektrische Zahnbürsten, Kaffeemaschinen, Kaffeemühlen, Toaster, Friteusen, elektrische Messer, Bügeleisen,

elektrische Spielzeuge (auch blinkende Laufschuhe), Elektrowerkzeuge, Nähmaschinen, Staubsauger, Ventilatoren, elektrische Öfen, Dampfreiniger, tragbare Video- und Audiogeräte, tragbare Radiogeräte, tragbare Kassettenrecorder, Kopfhörer, Mikrofone, Schneid- und Rührgeräte, Waagen, Föhne, Haartrockner, Haarschneidemaschinen, Entladungslampen, Uhren, Fotoapparate, Diktiergeräte, Tisch- und Taschenrechner, die zum Teil auch der Braunen Ware, den Geräten der Informationstechnik oder sonstigen, hier aufgelisteten Gruppen zugeordnet werden können.

Geräte für den Geldverkehr,

Meß-, Steuerungs- und Regelungsanlagen,

Beleuchtungsartikel (Lichttechnik) und

Geräte der Labor- und Medizintechnik.

3 Aufkommen an Elektro- und Elektronikaltgeräten

Das Aufkommen an Elektro- und Elektronikaltgeräten wurde vom Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. (bvse) für Deutschland im Jahr 1997 auf etwa 1,8 Mio Mg geschätzt (siehe Tabelle 3.1), wobei hier sowohl die Haushalte als auch der industrielle Bereich berücksichtigt wurden. Umgerechnet für Bayern ergibt sich daraus ein geschätztes Aufkommen von etwa 265.000 Mg. Den größten Anteil am Aufkommen haben Haushaltsgeräte mit 93.000 Mg und Unterhaltungselektronik mit 59.000 Mg in Bayern, aber auch Industrieelektronik stellt mit 53.000 Mg einen bedeutenden Teil der Altgeräte.

Tabelle 3.1: Aufkommen an Elektro- und Elektronikaltgeräten in Deutschland und Bayern für das Jahr 1997

| Geräteart | Aufkommen in Deutschland [Mg/a] ¹ | Aufkommen in Bayern [Mg/a] ² |
|-------------------------|---|--|
| Haushaltsgeräte | 630.000 | 93.000 |
| Unterhaltungselektronik | 400.000 | 59.000 |
| EDV/Informationstechnik | 110.000 | 16.000 |
| Büromaschinen | 110.000 | 16.000 |
| Kommunikationstechnik | 140.000 | 21.000 |
| Industrieelektronik | 360.000 | 53.000 |
| Medizintechnik | 50.000 | 7.000 |
| Gesamt | 1.800.000 | 265.000 |

Für einzelne Gerätearten lässt sich auch das Aufkommen an voraussichtlich zu entsorgenden Stückzahlen aus den privaten Haushalten ermitteln, die jährlich aufgrund der durchschnittlichen Lebensdauer der Elektrogeräte und der Ausstattung der Haushalte mit diesen Geräten anfallen. Geht man von den diesbezüglichen Literaturangaben für Bayern aus [1, 4], so ergeben sich die in Tabelle 3.2 aufgeführten Mengen an Elektroaltgeräten aus den privaten Haushalten, die jährlich zu entsorgen sind. Die Stückzahlen, auf denen diese Berechnungen beruhen, sind im Anhang für Bayerns Regierungsbezirke aufgeschlüsselt (siehe Tabellen A.4 bis A.7).

¹ Angaben des bvse für Deutschland im Jahr 1997

² einwohnerproportionale Umrechnung der Daten des bvse für Bayern

Tabelle 3.2: Jährliches Anfallpotenzial von Elektroaltgeräten aus Privathaushalten in Bayern (Masse in Mg)

| Name | Unterhaltungselektronik | IT-Geräte | Haushaltskleingeräte | Haushaltsgroßgeräte | Summe E-Geräte |
|---------------|-------------------------|---------------|----------------------|---------------------|----------------|
| Oberbayern | 10.442 | 3.896 | 8.565 | 27.668 | 50.571 |
| Niederbayern | 2.694 | 1.005 | 2.210 | 7.138 | 13.047 |
| Oberpfalz | 2.503 | 934 | 2.053 | 6.631 | 12.121 |
| Oberfranken | 2.678 | 999 | 2.196 | 7.095 | 12.968 |
| Mittelfranken | 4.295 | 1.602 | 3.523 | 11.380 | 20.800 |
| Unterfranken | 3.115 | 1.162 | 2.555 | 8.253 | 15.085 |
| Schwaben | 4.164 | 1.553 | 3.415 | 11.032 | 20.164 |
| Bayern | 29.890 | 11.150 | 24.515 | 79.196 | 144.751 |

Die Angaben des bvse und die Berechnungen aufgrund von Stückzahlen und durchschnittlichen Gerätegewichten stimmen von der Größenordnung her überein, da der bvse von einem Aufkommen von 60 % aus Haushalten und 40 % aus der Industrie ausgeht. Laut Angaben des bvse entspricht das Aufkommen von EAG aus Haushalten damit einer Menge von ca. 160.000 Mg im Vergleich zu 145.000 Mg bei der Abschätzung des Anfallpotenzials aus den geschätzten Stückzahlen. Bei den Berechnungen aufgrund von Stückzahlen wurden nur die wichtigsten Geräte berücksichtigt, so dass ohnehin ein etwas höherer Anfall an Elektroaltgeräten anzusetzen wäre.

4 Zusammensetzung von EAG

Die Zusammensetzung der Elektro- und Elektronikaltgeräte variiert sehr stark je nach Gerätegruppe (z.B. Unterhaltungselektronik) und Geräteart (z.B. TV-Gerät). Im folgenden wird die Zusammensetzung einiger Gerätearten bzw. Gerätegruppen vorgestellt.

4.1 Kleingeräte

Die folgende Abbildung 4.1 zeigt den Anteil an unterschiedlichen Fraktionen, die aus Elektrokleingeräten (z.B. kleinere Haushaltsgeräte, Informations- und Kommunikationstechnik) durch Schredderung nach einer Schadstoffentfrachtung zu gewinnen sind, wobei der Anteil an verwertbaren Metallen bei über 60 % liegt. Die in Abbildung 4.1 genannte Fraktion „Rücklauf“ setzt sich im Wesentlichen aus noch nicht getrenntem Kupfer und Aluminium zusammen und muss daher zum Metallanteil dazugezählt werden.

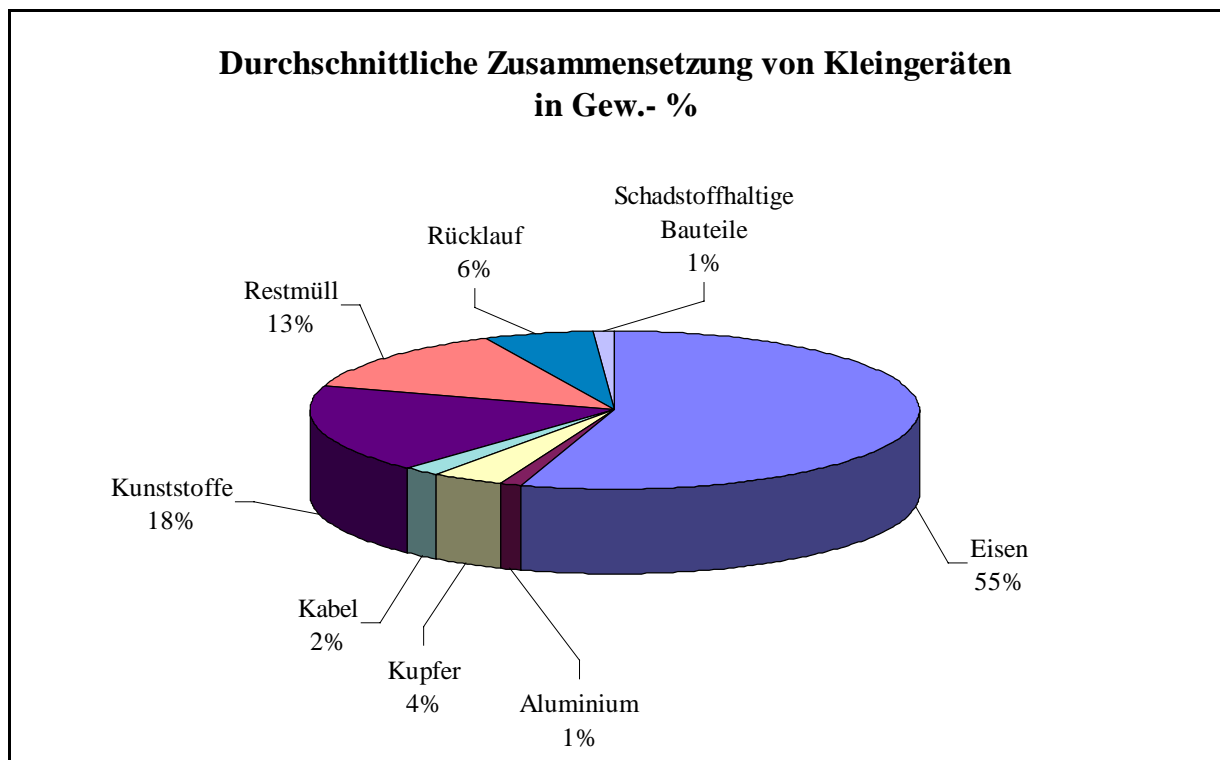


Abbildung 4.1: Durchschnittliche Zusammensetzung von Kleingeräten in Gew.-% [5]

Die schadstoffhaltigen Bauteile bei den hier untersuchten Kleingeräten sind überwiegend Batterien und Kondensatoren.

4.2 Bildschirmgeräte

Zu den Bildschirmgeräten zählen TV-Geräte und Monitore. Beispielhaft für diese Geräte wird die Zusammensetzung von TV-Geräten hier vorgestellt.

Der Anteil der Bildröhre an TV-Geräten ragt mit 41 % deutlich aus den übrigen Fraktionen hervor. Das Bildröhrenglas selbst lässt sich noch weiter unterteilen in Schirmglas (barium- und strontiumhaltig), Konusglas und Halsglas (beide bleihaltig).

In älteren TV-Geräten wurde häufig Holz für den Rahmen verwendet was sich hier mit einem relativ hohen Anteil von 18 % widerspiegelt. Die Rahmen neuerer Geräte bestehen in der Regel aus Kunststoffen, die in dieser Übersicht einen Anteil von 10 % ausmachen.

Eine weitere starke Fraktion stellen die Metalle dar, überwiegend Eisen und Stahl mit etwa 18 %. Die durchschnittliche Zusammensetzung von TV-Geräten ist in Abbildung 4.2 grafisch dargestellt.

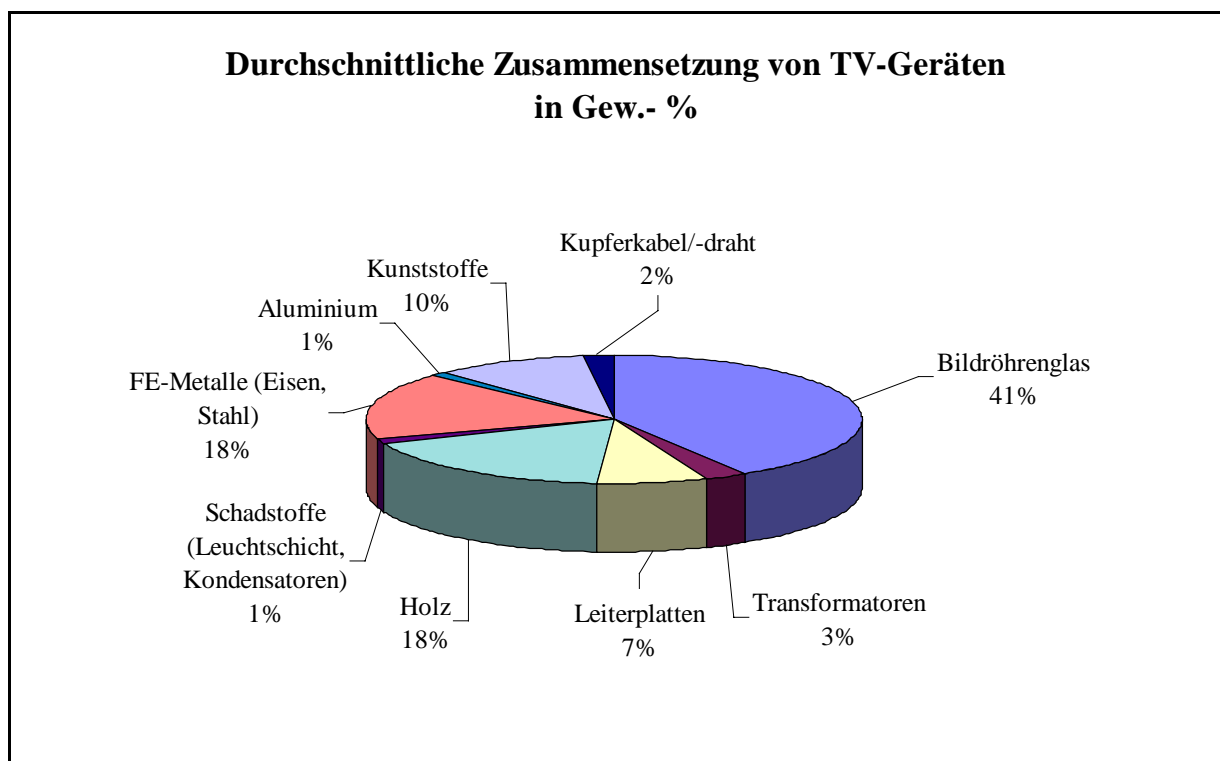


Abbildung 4.2: Durchschnittliche Zusammensetzung von TV-Geräten in Gew.-% [6]

4.3 Haushaltsgroßgeräte

Auch Haushaltsgroßgeräte bestehen zu einem Großteil aus Metall. In Abbildung 4.3 ist der hohe Metallanteil mit 60 % deutlich zu erkennen, aber auch Kunststoffe weisen mit 25 % einen sehr hohen Anteil auf. Als weitere Bestandteile sind Glas (z.B. Bullaugen von Waschmaschinen) und Leiterplatten genannt. Zu den sonstigen Stoffen zählen beispielsweise Gummi (Dichtungen) oder Beton (Massenausgleichsgewichte für Waschmaschinen), aber auch Schadstoffe wie PCB-haltige Kondensatoren, Quecksilberschalter oder Wärmeträgeröle.

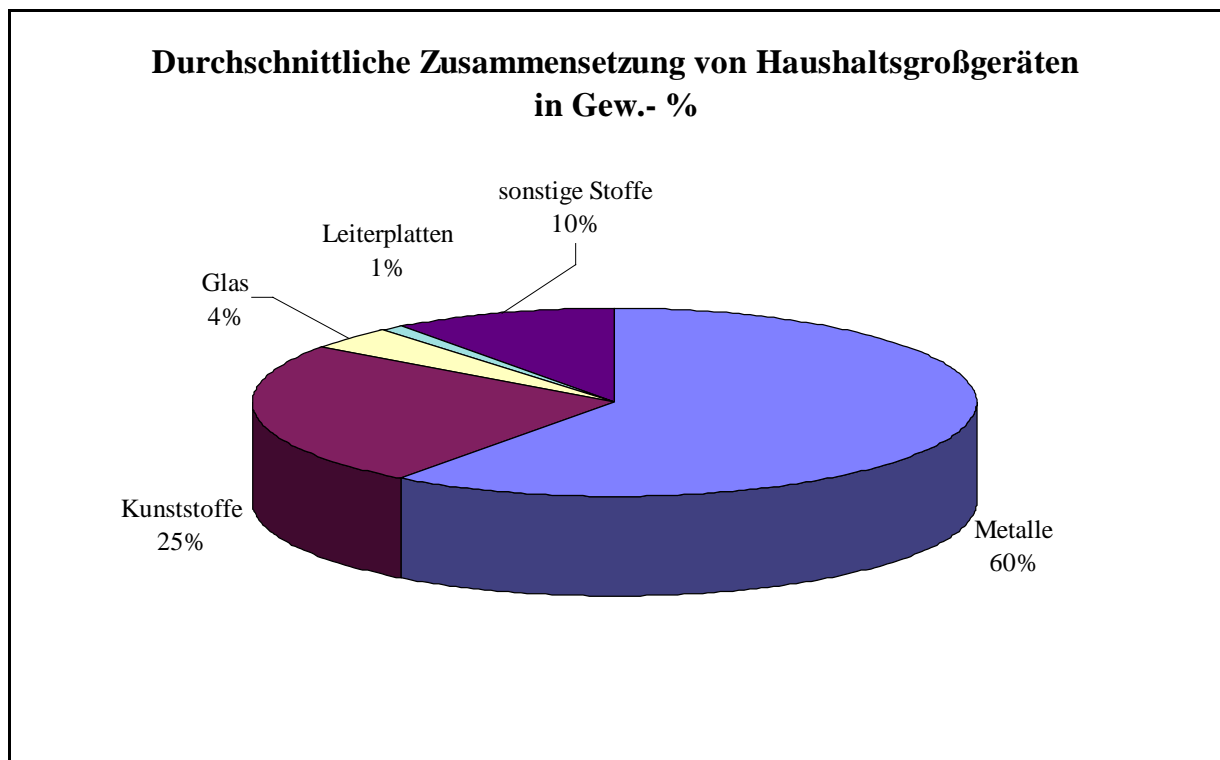


Abbildung 4.3: Durchschnittliche Zusammensetzung von Haushaltsgroßgeräten in Gew.-% [7]

4.4 Kühlgeräte

Die durchschnittliche Zusammensetzung von Kühlgeräten ist in der Abbildung 4.4 dargestellt. Auch hier stellen Metalle mit einem Anteil von 50 % die größte Fraktion dar.

Kunststoffe in Form von Isolierung und beispielsweise als Innenverkleidung machen zusammen 44 % der Bestandteile eines Kühlschranks aus. Das Kühlmittel schlägt mit 1 % zu Bu-

che, wobei das früher üblicherweise dazu eingesetzte FCKW nicht nur im Kühlkreislauf zu finden ist (durchschnittlich ca. 115g R12 pro Kühlgerät) sondern auch im PU-Schaum (durchschnittlich ca. 315 g R11 pro Kühlgerät) [8].

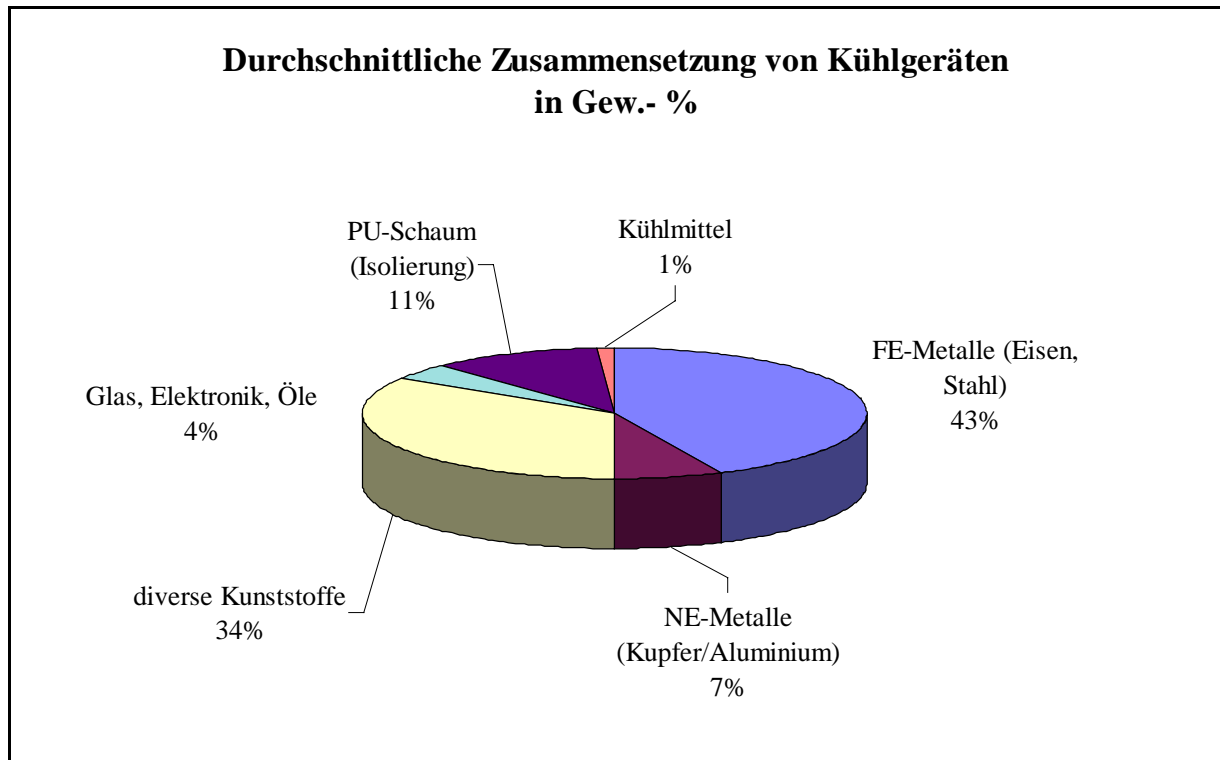


Abbildung 4.4: Durchschnittliche Zusammensetzung von Kühlgeräten in Gew.-% [6]

5 Erfassung

Der erste Schritt zur Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten stellt die getrennte Erfassung der Altgeräte dar. Die Erfassung umfasst laut EAG-Richtlinie die Schritte Sammlung der Elektro-Altgeräte, ggf. Zwischenlagerung und Vorsortierung der Gerätegruppen sowie Transport zum Demontagebetrieb in privatrechtlich oder öffentlich-rechtlich begründeten Auftragsverhältnissen. Die Sammlung kann im Holsystem (z.B. Einzelabholung auf Abruf, Sammelabholung an festen Terminen), im Bringsystem (z.B. über Recyclinghöfe, Fachhandel, Schadstoffmobil) oder in kombinierten Systemen (Hol- und Bringsystem) erfolgen.

Die Sammlung der Altgeräte ist so vorzunehmen, dass eine Beschädigung der Geräte, die eine Demontage und Verwertung erschweren bzw. verhindern oder eine Freisetzung umweltgefährdender Stoffe bewirken würde, vermieden wird. Insbesondere ist eine Beschädigung zerbrechlicher Teile wie z. B. Bildröhren von Fernsehgeräten und Monitoren sowie Kühlschlangen von Kälte- und Gefriergeräten durch geeignete Maßnahmen auszuschließen.



Abbildung 5.1: Unzweckmäßige Sammlung von Monitoren in Großcontainern, hier besteht große Bruchgefahr

Zur Sammlung von Elektrokleingeräten sind kleinere Sammelgebilde wie z.B. Gitterboxen daher größeren Sammelgebilden vorzuziehen. Neben den geringeren Transportschäden liegt

der Vorteil bei den Gitterboxen auch im leichteren Entleeren und der besseren Zugänglichkeit für die Demonteure beim Verwertungsbetrieb.

Bewährt für eine Sammlung mit geringen Transportschäden hat sich neben Gitterboxen auch das sogenannte Intainer-System, bei dem in einem Großcontainer mehrere Paletten untergebracht sind. Die Paletten können vertikal voneinander abgetrennt und mit Bildschirmgeräten oder Kleingeräten separat befüllt werden. Einen Blick in einen Intainer auf dem Wertstoffhof des Marktes Türkheim (Lkr. Unterallgäu) zeigt die Abbildung 5.2.



Abbildung 5.2: Sammlung von Bildschirmgeräten und Kleingeräten in einem Intainer

Neben geringen Transportschäden und einem hohen Füllvolumen weist das Intainer-System im Vergleich zu Großcontainern Vorzüge bei der Entleerung der EAG auf, z.B. geringere Verletzungsgefahr für das Demontagepersonal oder raschere Entleerung im Demontagebetrieb. Diese Vorteile müssen allerdings mit einem höheren Preis in der Anschaffung erkaufte werden.

5.1 Kleingeräte und Bildschirmgeräte

Laut Abfallbilanz 1999 sammeln bereits 72 entsorgungspflichtige Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbände Elektroaltgeräte (Kleingeräte inklusive Bildschirmgeräte) in ihrem Ge-

biet getrennt von anderen Abfällen. 14 Gebietskörperschaften verfügten 1999 über keine getrennte Sammlung. In Tabelle 5.1 sind, aufgeteilt nach Regierungsbezirken, die durchschnittlich getrennt erfassten Mengen an Elektrokleingeräten aus der kommunalen Sammlung dem Aufkommen gegenübergestellt, das sich aus Berechnungen aufgrund von Stückzahlen und durchschnittlichen Gerätegewichten (siehe oben) ergibt.

Tabelle 5.1: Übersicht über gesammelte Mengen an Kleingeräten (inclusive Bildschirmgeräten) in den bayerischen Regierungsbezirken im Jahr 1999

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Kleingeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Kleingeräten lt. Abfallbilanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Kleingeräten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungsgrad in% |
|----------------------|---|--|---|--------------------|
| Oberbayern | 22.902 | 4.975 | 1,2 | 21,7 |
| Niederbayern | 5.908 | 1.688 | 1,4 | 28,6 |
| Oberpfalz | 5489 | 743 | 0,7 | 13,5 |
| Oberfranken | 5.873 | 649 | 0,6 | 11,1 |
| Mittelfranken | 9.420 | 1.591 | 0,9 | 16,9 |
| Unterfranken | 6.831 | 883 | 0,7 | 12,9 |
| Schwaben | 9.132 | 3.003 | 1,7 | 32,9 |
| Bayern gesamt | 65.554 | 13.532 | 1,1 | 20,6 |

Der sich daraus ergebende Erfassungsgrad (erfasste Menge dividiert durch das rechnerische Aufkommen) bewegt sich für die Regierungsbezirke zwischen 11,1 % und 32,9 %. Einzelne Kommunen weisen sogar einen Erfassungsgrad von über 50 % auf, was einer Sammelmenge von über 2,7 kg/EW*a entspricht. Die Einzelergebnisse der getrennten Sammlung von Elektrokleingeräten aller bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbände sind im Anhang aufgelistet.

5.2 Haushaltsgroßgeräte

Die Sammelmengen von Haushaltsgroßgeräten (z.B. Waschmaschinen, Geschirrspülmaschinen, Elektroherde usw.) werden in Bayern bisher nicht vom jeweiligen erfassten Grobschrott getrennt dokumentiert, daher ist man bei der Angabe der separat gesammelten Menge auf Schätzwerte angewiesen. Die der folgenden Tabelle 5.2 zugrundeliegenden Berechnungen beruhen auf der Annahme, dass die getrennt gesammelte Menge an Haushaltsgroßgeräten etwa 2 kg/EW*a beträgt (entspricht der durchschnittlichen Erfassungsmenge in Hessen [17]) und diese Menge auch korreliert mit der Menge an gesammeltem Grobschrott der einzelnen

Gebietskörperschaften und Abfallzweckverbände. Mit den oben genannten Annahmen ergibt sich, dass die getrennt gesammelte Menge an Haushaltsgroßgeräten ca. 1/6 der in der Abfallbilanz 1999 ausgewiesenen Grobschrottmenge der Gebietskörperschaften und Abfallzweckverbände entspricht.

Tabelle 5.2: Schätzung der getrennt gesammelte Mengen an Haushaltsgroßgeräten in den bayerischen Regierungsbezirken im Jahr 1999

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Großgeräten in Mg/a | Schätzung der kommunal erfassten Mengen an ge- brauchten Großge- räten für 1999 in Mg/a | Schätzung der kommunal erfassten Mengen an ge- brauchten Großge- räten für 1999 in kg/EW*a | Erfassungs- grad in % |
|----------------------|--|--|---|--------------------------|
| Oberbayern | 18.910 | 7.556 | 1,9 | 40,0 |
| Niederbayern | 4.879 | 3.350 | 2,9 | 68,7 |
| Oberpfalz | 4.532 | 2.153 | 2,0 | 47,5 |
| Oberfranken | 4.849 | 2.060 | 1,8 | 42,5 |
| Mittelfranken | 7.778 | 3.298 | 2,0 | 42,4 |
| Unterfranken | 5.641 | 2.270 | 1,7 | 40,2 |
| Schwaben | 7.540 | 4.771 | 2,7 | 63,3 |
| Bayern gesamt | 54.129 | 25.450 | 2,1 | 47,0 |

Die geschätzten Erfassungsgrade für Haushaltsgroßgeräte liegen in den Regierungsbezirken Niederbayern und Schwaben bei über 60 %, in allen anderen Regierungsbezirken im Schnitt zwischen 40,0 % und 47,5 %. Die geschätzten Erfassungsgrade der einzelnen Gebietskörperschaften und Abfallzweckverbände, die im Anhang aufgeführt sind, liegen teilweise unter 10 %, in einem Fall aber auch über 100 %. An dieser Stelle muss aber noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die in Tabelle 5.2 und der entsprechenden Tabelle im Anhang angegebenen Zahlen nicht direkt die Erfassung von Haushaltsgroßgeräten widerspiegeln, sondern vielmehr die Menge an getrennt gesammeltem Grobschrott.

5.3 Kühlgeräte

Ein sehr guter Datenbestand liegt im Gegensatz zu den Haushaltsgroßgeräten bei den Kühlgeräten vor. In Tabelle 5.3 sind die Erfassungsmengen der bayerischen Regierungsbezirke für Kühlgeräte im Überblick dargestellt und dem rechnerischen Aufkommen an gebrauchten Kühlgeräten gegenübergestellt. Die Erfassungsgrade schwanken zwischen 32,8 % in Oberbayern und 50,7 % in Niederbayern. Die Erfassungsgrade einzelner entsorgungspflichtiger Kör-

perschaften schwanken in deutlich größeren Bereichen zwischen 3,2 % und 82,3 %. Der bayernweite Durchschnitt für den Erfassungsgrad liegt bei 38,7 %.

Der Erfassungsgrad von 38,7 % der Kühlschränke in den kommunalen Sammlungen Bayerns scheint auf den ersten Blick niedrig zu liegen. Hierzu sei bemerkt, dass das rechnerische Aufkommen für Bayern anhand des Ausstattungsbestandes an Kühlgeräten (ca. 10,7 Mio Stück im Jahr 1998), der durchschnittlichen Lebensdauer eines Kühlgerätes laut Literaturangaben (15 Jahre) und der Annahme, dass ein Kühlgerät sofort nach der Ausserbetriebstellung entsorgt wird, ermittelt wurde. Änderungen bei diesen Annahmen, z.B. eine längere durchschnittliche Lebensdauer der Geräte oder ein abweichendes Verbraucherverhalten (Kühlschrank wird erst einige Jahre nach dem Ende seiner Lebensdauer entsorgt) führen natürlich zu abweichenden Ergebnissen bei den ermittelten Erfassungsgraden. Die deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Gebietskörperschaften lassen aber bei Landkreisen mit geringen Erfassungsgraden noch auf ein hohes Sammelpotenzial schliessen.

Tabelle 5.3: Übersicht über gesammelte Mengen an Kühlgeräten in den bayerischen Regierungsbezirken im Jahr 1999

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Kühlgeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Kühlgeräten lt. Abfallbilanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Kühlgeräten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungsgrad in % |
|----------------------|--|---|--|---------------------|
| Oberbayern | 8.757 | 2.873 | 0,7 | 32,8 |
| Niederbayern | 2.259 | 1.146 | 1,0 | 50,7 |
| Oberpfalz | 2.099 | 711 | 0,7 | 33,9 |
| Oberfranken | 2.245 | 862 | 0,8 | 38,4 |
| Mittelfranken | 3.602 | 1.501 | 0,9 | 41,7 |
| Unterfranken | 2.612 | 1.279 | 1,0 | 49,0 |
| Schwaben | 3.492 | 1.337 | 0,8 | 38,3 |
| Bayern gesamt | 25.067 | 9.709 | 0,8 | 38,7 |

Die bisher genannten Erfassungsmengen beziehen sich auf die kommunale Erfassung von Elektroaltgeräten. Eine weitere Möglichkeit der Erfassung von EAG aus Haushalten besteht über den Handel. Die Firma Quelle hat im Jahr 2000 beispielsweise bundesweit fast 200.000 Elektroaltgeräte von ihren Kunden zurückgenommen, darunter knapp 65.000 Kühl- bzw. Gefriergeräte [9]. Neben den größeren Handelsketten nehmen auch einige Produzenten Elektroaltgeräte zurück, die aus ihrer Produktion stammen. Einen Überblick über die Firmen (Handel und Hersteller), die Elektroaltgeräte von Haushalten zurücknehmen, wurde von der Verbrau-

cherzentrale Nordrhein-Westfalen veröffentlicht. Die Liste ist zur Information im Anhang abgedruckt und kann demnächst aktualisiert im Internet unter <http://www.vz-nrw.de> abgerufen werden.

6 Zerlegung und Fraktionierung

6.1 Kleingeräte

Bei den meisten Entsorgungsbetrieben werden Kleingeräte nach der Anlieferung zuerst getrennt in wertstoffhaltige Geräte (meist größere IT-Geräte wie Computer, Drucker) und sonstige Geräte. Bei den wertstoffhaltigen Geräten werden die Gehäuse geöffnet und die wertstoffhaltigen Teile manuell ausgebaut. Die saubere Auftrennung der einzelnen Materialien ist von wesentlicher Bedeutung für die spätere Verwertung. Die wichtigsten Stoff- bzw. Bauteilgruppen sind:

- Eisen- und Stahlteile (v.a. aus Gehäuseteilen),
- Aluminium (z.B. Gehäuseteile, Kühlkörper, konstruktive Teile),
- Kupfer (Kabel, Ablenkspulen, Elektromotoren),
- Leiterplatten (meist mehrere Fraktionen, je nach Edelmetallgehalt),
- funktionsfähige, weiterverwendbare elektrische und elektronische Bauteile (Speicherchips, Mikroprozessoren, Motore etc.),
- nicht zur Verwertung vorgesehene Bauteile und Stoffe (z.B. bestimmte Batterien, Kondensatoren, quecksilberhaltige Bauteile, Holz, Gummi, mineralische Dämmstoffe, Pappe, Dichtungsmassen, Mischkunststoffe etc).

Bei den Zerlegebetrieben wird die Zerlegung und Fraktionierung der Altgeräte in der Regel an Einzelarbeitsplätzen durchgeführt. Der Demontearbeiter zerlegt das Gerät und legt die demontierten Bauteile in Behältern für jeweils eine Fraktion in vorbereitete Gitterboxen oder kleinere Gebinde ab.

Wieviele Materialfraktionen ein Zerlegebetrieb bildet, hängt neben den Anforderungen der Verwerter auch von wirtschaftlichen Erwägungen ab. Je größer die Demontagetiefe ist, desto höher sind die Personalkosten für die Zerlegung. Andererseits lassen sich möglichst reine Wertstoffe besser verwerten und erzielen folglich auch höhere Erlöse. Da in den vergangenen Jahren der Marktpreis für die Entsorgung von Elektroaltgeräten stark zurückgegangen ist, werden oft nur noch größere Metallteile und Leiterplatten als Wertstoffe ausgebaut, der Rest der vordemontierten Geräte wird anschließend an andere Aufbereitungsbetriebe (Schredderbetriebe) weitergegeben.



Abbildung 6.1: Demontage von Elektroaltgeräten in einem gemeinnützigen Betrieb (Fa. Sinus, Straubing)

Kleingeräte, die über keine größeren Wertstoffanteile verfügen, werden von den Demontagebetrieben „schadstoffentfrachtet“ (Entfernung von Bauteilen, die ein besonderes Schadstoffpotential bergen wie z.B. Batterien, größere Kondensatoren u.ä.) und an Schredderbetriebe weitergegeben.

6.2 Bildschirmgeräte

Zu den Bildschirmgeräten zählen Fernsehgeräte und Monitore mit einer eingebauten Kathodenstrahlröhre. Die Gehäuse der Bildschirmgeräte werden in den Zerlegebetrieben geöffnet, die Kathodenstrahlröhre belüftet (Implosionsgefahr!) und anschließend die verwertbaren Fraktionen und die Schadstoffe aus dem Gerät separat entfernt, z.B. Stahl- und Eisenteile, Leiterplatten, Kupferspulen, Kondensatoren etc..

Die belüftete Kathodenstrahlröhre wird anschließend in der Regel getrennt in die unterschiedlichen Glasfraktionen, aus der sie besteht. Dazu ist zunächst zwischen Monochrom- (z.B. Schwarzweiß-) und Farbbildröhren zu unterscheiden.

Monochromröhren bestehen aus einer einzigen, bleihaltigen Glassorte. Im Inneren enthalten sie keine Metallteile und die gesamte Bildschirminnenseite ist gleichmäßig mit Leuchtstoffen beschichtet [3].

Farbbildröhren dagegen sind aus unterschiedlichen Glassorten aufgebaut. Der Schirm (Vorderseite) besteht (bei Röhren aus europäischer Produktion) aus einer barium- bzw. (bei Röhren aus Fernost) einer strontiumhaltigen Glassorte. Bariumoxid oder Strontiumoxid muß dem Glas beigelegt werden, um die im Innern erzeugte hochenergetische Strahlung abzuschirmen. Im Konusglas wird zur Abschirmung der Strahlung Bleioxid verwendet, das für Schirmglas jedoch nicht verwendet werden kann (im Gegensatz zu Monochromröhren), da Bleioxid nach einiger Zeit der Elektronenbestrahlung zu einer Verfärbung des Glases führen würde [10].

Die chemische Zusammensetzung von Schirm- und Konusglas schwankt außerordentlich stark. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass jeder Hersteller seine eigene Glasrezeptur besitzt, die meist Betriebsgeheimnis ist. Zum anderen haben sich aber auch die Anforderungen an das Glas im Laufe der Zeit verändert, zum Beispiel hinsichtlich des Strahlenschutzes. Da beim Entsorgungsbetrieb Bildröhren unterschiedlicher Hersteller und verschiedener Baujahre eintreffen, können für die chemische Zusammensetzung des Bildröhrenglases nur ungefähre Angaben gemacht werden. Einen Überblick dazu gibt Tabelle 6.1.

Tabelle 6.1: Zusammensetzung von Bildröhrenglas [10]

| Verbindung | Formel | Gew.-% Konus | Gew.-% Schirm |
|------------------|--------------------------------|--------------|---------------|
| Siliziumoxid | SiO ₂ | 50,0 - 60,0 | 55,0 - 65,0 |
| Natriumoxid | Na ₂ O | 5,0 - 7,0 | 5,0 - 10,0 |
| Kaliumoxid | K ₂ O | 5,0 - 10,0 | 5,0 - 10,0 |
| Bortrioxid | B ₂ O ₃ | 0,0 - 0,2 | 0,0 - 0,1 |
| Bariumoxid | BaO | 0,6 - 2,0 | 0,3 - 13,3 |
| Calciumoxid | CaO | 3,5 - 6,0 | 1,0 - 4,0 |
| Magnesiumoxid | MgO | 2,0 - 3,0 | 0,0 - 1,4 |
| Strontiumoxid | SrO | 0,0 - 0,2 | 0,5 - 10,7 |
| Bleioxid | PbO | 9,9 - 21,0 | 0,0 - 4,0 |
| Aluminiumoxid | Al ₂ O ₃ | 1,5 - 4,5 | 1,0 - 4,0 |
| Eisenoxid | Fe ₂ O ₃ | 0,0 - 0,1 | 0,0 - 0,1 |
| Titanoxid | TiO ₂ | 0,0 - 0,1 | 0,2 - 0,8 |
| Antimonoxid | Sb ₂ O ₃ | 0,0 - 0,2 | 0,2 - 0,6 |
| Arsenoxid | As ₂ O ₃ | k.A. | 0,0 - 0,2 |
| Cerioxid | CeO ₂ | k.A. | 0,0 - 0,6 |
| Wolframtrioxid | WO ₃ | k.A. | 0,0 - 1,8 |
| Zinkoxid | ZnO | k.A. | 0,0 - 3,0 |
| Zirkonoxid | ZrO ₂ | k.A. | 0,0 - 2,0 |
| Lithiumoxid | Li ₂ O | 0,0 - 0,5 | k.A. |
| Phosphorpentoxid | P ₂ O ₅ | 0,1 - 0,6 | k.A. |

Der Hals, in dem sich die Elektronenkanone befindet, besteht ebenfalls aus Bleiglas, jedoch mit einem etwas höherem Bleigehalt als das Konusglas. Schirmglas und Konusglas werden bei der Herstellung von Farbbildröhren mit einem Glaslot (auch Glasfritte genannt) miteinander verbunden, das hauptsächlich aus Bleioxid besteht und bei einer niedrigeren Temperatur erweicht, als Schirm- und Konusglas.

Auf der Innenseite des Schirmglases sind Leuchtstoffe aufgebracht, die bei Anregung durch einen Elektronenstrahl die Grundfarben Rot, Grün und Blau erzeugen. Diese Leuchtstoffe bestehen aus einem Gemisch, das z.B. Zinksulfid, die seltenen Erden Yttrium und Europium, das Schwermetall Cadmium, aber auch die Edelmetalle Gold und Silber enthalten kann. Hals- und Konusglas sind ebenfalls auf der Innenseite beschichtet, die Beschichtung besteht aber aus toxikologisch unbedenklichen Stoffen wie Aluminium, Eisenoxid oder Graphit.

Abbildung 6.2 können die weiteren Bestandteile einer Farbbildröhre entnommen werden.

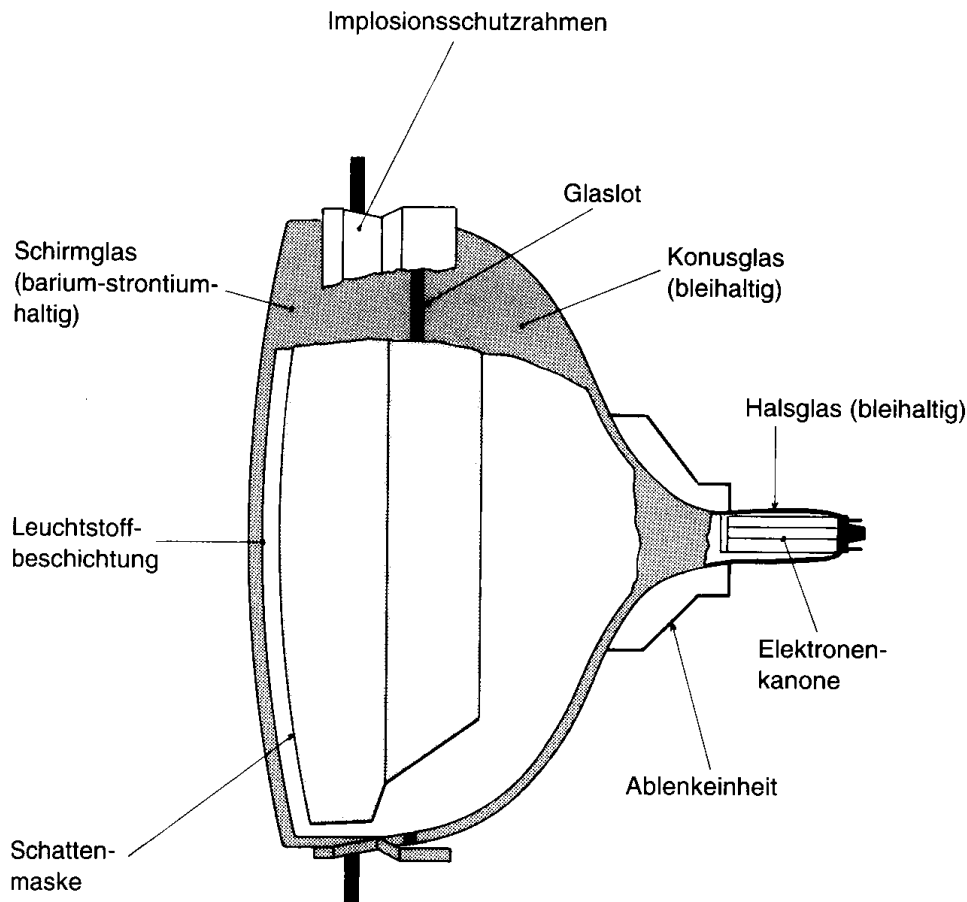


Abbildung 6.2: Typischer Aufbau einer Farbbildröhre [3]

Die Schattenmaske aus Eisenblech und Stahl dient zu einer exakten Ansteuerung der einzelnen Bildpunkte durch den Elektronenstrahl, der in der Elektronenkanone erzeugt wird. Die ebenfalls zur Bildpunktsteuerung benötigte Ablenkeinheit besteht aus Kupferdrähten, Eisenteilen und einer Kunststoffhalterung. Farb- und auch Monochromröhren sind schließlich noch von einem Metallrahmen aus Stahl umgeben, der als Implosionsschutz dient und über den die Bildröhren in den jeweiligen Gerätegehäusen befestigt werden können.

Über die gewichtsmäßige Aufteilung der angesprochenen Fraktionen einer Farbbildröhre gibt Tabelle 6.2 Auskunft.

Tabelle 6.2: Zusammensetzung einer 63 cm-Farbbildröhre [10]

| Komponenten | Masse [g] |
|--|---------------|
| Schirmglas | 12.500 |
| Konusglas | 4.700 |
| Metalle (Maske, Spann- und Maskenrahmen) | 2.400 |
| Strahlerzeuger-Einheit | 88 |
| Glasfritte | 85 |
| Beschichtungen und Leuchtstoffe | 7 |
| Gesamtmasse | 19.750 |

Zur Trennung der Bildröhren gibt es spezielle Aufbereitungsanlagen, deren Ziel es ist, die gefährlichen Inhaltsstoffe der Leuchtschicht und die sonstigen Materialien vom Röhrenglas zu entfernen, um das gereinigte Glas in einem nachfolgenden Schritt wieder- oder weiterverwerten zu können. Als Input-Material einer derartigen Anlage ist die oben beschriebene Bildröhre zu sehen, die nach wie vor manuell aus dem Gehäuse entfernt und für die meisten Verfahren auch belüftet werden muß.

Weit verbreitet ist das Heizdrahtverfahren, das in unterschiedlichen Varianten angeboten wird. Bei diesem Verfahren werden Spannrahmen und Strahlerzeugereinheit von der bereits belüfteten Bildröhre manuell entfernt. Die freigelegte Röhre wird danach in eine Demontageeinrichtung gebracht, die entsprechend der Abmessung der jeweiligen Bildröhre die Auftrennung in Schirm- und Konusglas einleitet. Anschließend wird an die Röhre ein Heizdraht angelegt, der die Bildröhre selektiv an der Nahtstelle zwischen Schirm- und Konusglas erhitzt. In Abbildung 6.3 ist das Einspannen der Bildröhre durch einen Demontearbeiter zu erkennen. Durch das Aufheizen und das anschließende Abkühlen werden im Bildröhrenglas mechanische Spannungen erzeugt, die zu einer Abspaltung des Konusglases vom Schirmglas an der durch eine Oberflächenstörung hervorgerufenen Sollbruchstelle führen. Schirm- und Konusglas sowie die Schattenmaske werden nun entnommen und können getrennt gesammelt werden. Die auf dem Schirmglas aufgetragene Leuchtschicht wird schließlich mittels mechanischer Bürsten entfernt, die an Industriestaubsauger mit Feinstfilter angeschlossen sein müssen. Die anfallende Leuchtschicht muß, wie bei allen anderen Verfahren auch, als Sondermüll entsorgt, das Glas kann einer Verwertung zugeführt werden.



Abbildung 6.3: Bildröhrentrennung mittels Spanndrahtverfahren (Firma EHG Wallner Recycling GmbH, Chieming)

Bei der Firma Hetzel-Elektronik (Nürnberg) geht man einen anderen Weg um möglichst sortenreine Gläser zu erzielen. Die Trennung der Glassorten erfolgt thermisch in einem Ofen, das Glaslot wird dadurch erweicht und Schirm- und Konusglas werden als komplette Stücke erhalten. Nach dem Auftrennen der Bildröhre werden die Eisenteile manuell entfernt und die Leuchtschicht in einer nachfolgenden Hochdruckwaschanlage ausgewaschen.

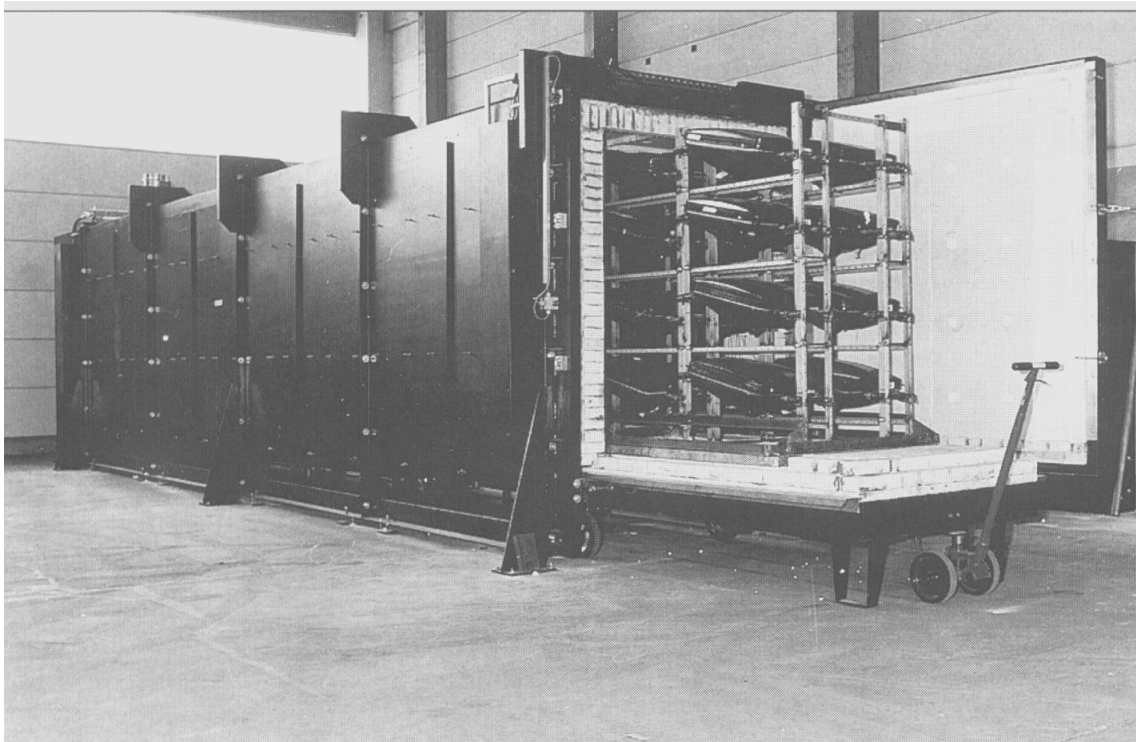


Abbildung 6.4: Ofen zur Bildschirmtrennung (Fa. Hetzel Elektronik-Recycling GmbH & Co. KG, Foto: Schlögl)

6.3 Haushaltsgroßgeräte

Haushaltsgroßgeräte mit hohem Metallanteil werden überwiegend gemeinsam mit Sammelschrott und Autowracks in Schredderanlagen zerkleinert. Auf diese seit langem bewährte Verwertungstechnologie soll hier nicht näher eingegangen werden.

Es ist darauf hinzuweisen, dass im Sinne einer Schadstoffentfrachtung der Schredderrückstände auch bei der Aufbereitung von Elektrogeräten in Schredderanlagen nicht auf eine manuelle Demontage der Altgeräte verzichtet werden kann. Es sollten insbesondere die enthaltenen elektrischen und elektronischen Bauteile ausgebaut und damit verhindert werden, dass Problemsubstanzen, wie z.B. PCB aus Kondensatoren, in den Schredderrückstand eingetragen werden. Dies entspricht auch den Anforderungen der EAG-Richtlinie, die fordert, dass grundsätzlich ein Ausbau und eine Separierung schadstoffhaltiger Bauteile zu erfolgen hat. Lediglich im Einzelfall kann auf den Ausbau und die Separierung einzelner schadstoffhaltiger Bauteile verzichtet werden, wenn die nachfolgende Verwertung nicht nachteilig behindert wird und/oder durch nachgeschaltete Behandlungsschritte sichergestellt werden kann, dass keine Emissionen der Schadstoffe in die Umwelt erfolgen oder Schadstoffanreicherungen im Wertstoffkreislauf stattfinden. Die genannten Ausnahmen greifen aber nicht im Fall des Zerklei-

nerns von Haushaltsgroßgeräten in Schredderanlagen, da hier verfahrensbedingt eine Verteilung der Schadstoffe auf das Schreddergut erfolgt.

6.4 Kühlgeräte

Bei der Aufbereitung von Kühlgeräten ist in starkem Maße auf die Rückgewinnung der darin enthaltenen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) zu achten. Die FCKW sind, wie bereits in Kapitel 4.4 erwähnt, nicht nur im Kühlkreislauf der älteren Geräte zu finden, auch PU-Schaum wurde bis Ende 1994 größtenteils mit FCKW geschäumt.

In einer ersten Stufe wird der Kühlkreislauf von Kältemittel und Kältemaschinenöl entleert. Die erste Behandlungsstufe ist gemäß „Leitfaden zur Entsorgung von Kältegeräten“ (herausgegeben vom Umweltbundesamt, Stand 01/1998) in einem geschlossenen System auszuführen, um ein Entweichen von FCKW auszuschließen. In der Regel wird der Kühlkreislauf mit einer Spezialzange angestochen und anschließend das Kältemaschinenöl und das Kältemittel abgesaugt. Das Kältemaschinenöl wird vor der weiteren Verwertung vom FCKW getrennt, dies geschieht beispielsweise durch Erwärmen des Öls. Das FCKW wird über Kühlfallen oder Aktivkohlefilter aus dem Abluftstrom entfernt und in Gasflaschen abgefüllt.

Nach dem Absaugen des Kältemaschinenöls wird der Kompressor ausgebaut, lose oder verwertbare Teile (Glasplatten, Einschübe, Kabel, Kühlgitter usw.) werden entfernt sowie evtl. vorhandene PCB-haltige Kondensatoren und Quecksilberschalter demontiert. Nach der manuellen Vorbehandlung gelangen die Kühlgeräte bei Verfahren nach dem Stand der Technik in eine geschlossene Aufbereitungsanlage.

In der zweiten Stufe der Kühlgeräteaufbereitung werden die gesamten Geräte zerkleinert und in mehrere Fraktionen aufgetrennt (FE-Metall, NE-Metall, PUR-Schaum, sonstige Kunststoffe). Die Abluft aus dieser zweiten Stufe wird gefasst und ebenfalls von FCKW gereinigt.

Im oben genannten UBA-Leitfaden werden folgende Orientierungswerte für die Rückgewinnung von FCKW pro Kühlgerät genannt:

Stufe 1: 115 g (meist R12, CF_2Cl_2 , als Kühlmittel eingesetzt)

Stufe 2: 283 g (meist R11, CFCl_3 , im PUR zur Herstellung des Schaumes verwendet)

Während der Orientierungswert für die Stufe 1 allgemein akzeptiert wird hat sich um den Orientierungswert für die Stufe 2 ein fachlicher Streit entbrannt. So wird zum Teil aus der Praxis berichtet, dass die vorgegebenen Orientierungswerte nicht eingehalten werden können, da das

im PUR-Schaum enthaltene FCKW in alten Geräten nicht mehr in dem Umfang enthalten ist, wie im UBA-Leitfaden angenommen wird. Zur Klärung der Frage, wieviel FCKW durchschnittlich in einem Kühlgerät, das zur Entsorgung gelangt, enthalten ist, wurden bereits mehrere Gutachten erstellt. Die Ergebnisse der Studien variieren mit der angewandten Methodik der Untersuchungen. Zur endgültigen Klärung der strittigen Frage wurde Ende 2000 eine Arbeitsgruppe gegründet, die unter Koordinierung des Umweltbundesamtes die Vertreter der gegensätzlichen Meinungen vereint. Diese Arbeitsgruppe soll im gemeinsamen Konsens ein Untersuchungsprogramm erarbeiten, das eine Klärung herbeiführen wird.

7 Verwertung der Fraktionen

7.1 Eisen und Stahl

Eisenschrott macht bei weitem den Großteil der verwertbaren Fraktionen aus. Das Eisen kann relativ leicht durch eine mechanische Aufbereitung, wie sie z.B. in einem Schredderbetrieb vorgenommen wird, von Verunreinigungen gereinigt werden. Das zerkleinerte Gut wird dort mit Hilfe eines Magnetscheiders in eine magnetische und eine nichtmagnetische Fraktion getrennt.

Die magnetische Fraktion kann direkt an eisen- und stahlerzeugende Betriebe abgegeben werden, wobei der zu erzielende Preis vom Eisengehalt und vom Gehalt der störenden Begleitmetalle abhängt. Kupfer sollte z.B. mit nicht mehr als 1 % des Gewichts vorhanden sein. Die gereinigte Eisenfraktion kann bei der Elektrostahlerzeugung zu 100 % eingesetzt werden. Im Sauerstoffblasverfahren, wie z.B. dem LD-Verfahren kann sie ebenfalls eingesetzt werden, allerdings nur zu einem geringeren Anteil (beim LD-Verfahren können ca. 20-25 % Eisenschrott eingesetzt werden).

7.2 Kupfer

Spulen und Transformatoren enthalten einen hohen Kupferanteil wie auch Kabel und Elektronenstrahleinheiten aus Bildschirmgeräten.

Die aus der Demontage anfallenden kupferhaltigen Fraktionen sollten vor einem Einsatz bei der Rohkupfergewinnung aufbereitet werden. Bei Spulen und Transformatoren ist noch ein großer Anteil Eisen mit enthalten, der nach einer Zerkleinerung durch Magnetscheidung abgetrennt werden kann. PVC-ummantelte Kabel müssen von ihrer Isolierung befreit werden, da es sonst zu einem unerwünschten Chloreintrag durch PVC in die Metallschmelze kommt, wobei Dioxine entstehen können.

Sekundärkupferhütten nehmen Kupfer- und Kupferlegierungskonzentrate ab einer Kupferkonzentration von ca. 10 % an. Die aufbereitete Kupferfraktion, die diesen Wert erreicht, kann zusammen mit anderem Kupferschrott zu Rohkupfer verarbeitet werden. Das Rohkupfer aus Sekundärmaterial wird, wie auch Rohkupfer aus Erzen, elektrolytisch gereinigt.

Der zu erzielende Preis für Kupfer ist, wie beim Eisenschrott, vom Anteil und von der Art der Verunreinigungen sowie der Legierungselemente, z.B. Zink bei Messing oder Zinn bei Bronze, abhängig.

7.3 Aluminium

Die Aluminiumfraktion kann durch Umschmelzen wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Die Aluminiumschrotte aus der Sammlung von Gebrauchsgütern werden als Altschrotte bezeichnet und zu Sekundäraluminium verarbeitet. In Abbildung 7.1 sind die Verfahrensschritte bei der Sekundäraluminiumproduktion dargestellt.

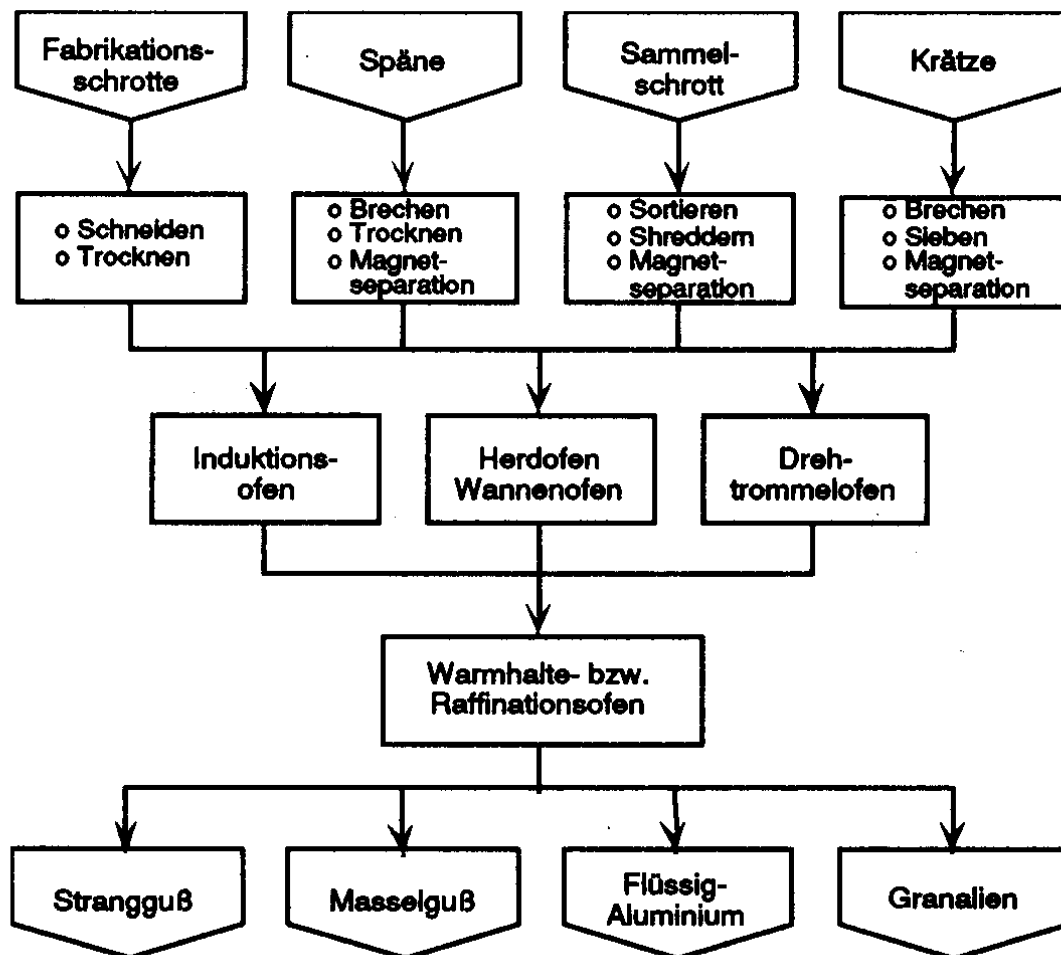


Abbildung 7.1: Verfahrensschritte bei der Sekundäraluminiumproduktion [11]

Aus Abbildung 7.1 geht hervor, dass zusätzlich zum Altschrott (hier Sammelschrott bezeichnet) auch Fabrikationsschrotte und Späne (sogenannte Neuschrotte), die aus der aluminiumverarbeitenden Industrie stammen, eingesetzt werden.

Bei Aluminiumschmelzen bildet sich durch den anwesenden Luftsauerstoff eine Aluminiumoxidhaut, die von Zeit zu Zeit abgezogen wird. Diese Aluminiumoxidhaut wird als Krätze bezeichnet. Die Krätze besteht hauptsächlich aus Al_2O_3 und unterschiedlichen Gehalten an mitgerissenem Aluminiummetall, zu einem geringen Anteil finden sich darin auch Verunrei-

nigungen und Legierungselemente. Nach einer Aufbereitung, wie in Abbildung 7.1 dargestellt, kann der Aluminiumanteil aus der Krätze wieder im Schmelzprozeß eingesetzt werden.

Grund für den Einsatz von Neuschrotten und Krätze ist, dass Aluminium ein sehr unedles Metall ist. Die Hauptlegierungselemente sind Kupfer, Magnesium, Mangan, Silizium und Zink, wobei mit herkömmlichen Mitteln nur Magnesium zu entfernen ist, alle anderen aufgezählten Legierungspartner reichern sich beim Umschmelzen an. Die gewünschte oder benötigte Legierungszusammensetzung muß daher durch Verdünnen (Neuschrott) oder Auflegieren eingestellt werden [11]

Aus Sekundäraluminium werden aus diesem Grund in der Regel Gußlegierungen hergestellt, die hochwertigen Knetlegierungen dagegen aus Primäraluminium.

7.4 Bildröhren

Nach Schätzungen des bvse fallen in Deutschland jährlich über 130.000 Mg Bildröhrenglas als Abfall an [6]. Allein die zu entsorgenden Fernsehgeräte aus bayerischen Haushalten tragen nach Berechnungen des LfU zur Menge an Bildröhrenglas etwa 7.400 Mg bei, dazu kommen noch Monitore aus Haushalt, Industrie und Gewerbe.

Über 40 % des Gewichts von Bildschirmgeräten machen die Bildröhren aus, womit man in Deutschland auf über 7 % Bildröhren im Elektronikschrott kommt.

Nachdem die Leuchtschicht von den Bildröhren entfernt ist, stellt sich die Frage der Wieder- oder Weiterverwertung des gewonnenen Glases. Hierzu gibt es mehrere Ansätze, die in Anlehnung an die EAG-Richtlinie [2] im folgenden kurz erläutert werden.

Wiederverwertung zu neuem Bildschirmglas

Am besten im Sinne des Verwertungsgedankens wäre eine erneute Verwendung der alten Bildröhren bei der Herstellung von neuen Bildröhren. Dabei gibt es allerdings eine Reihe von Problemen, die diese Lösung erschweren bzw. undurchführbar machen. So bestehen Farbbildröhren aus mehreren Glassorten. Diese Glassorten müssen bei einem erneuten Einsatz zur Bildröhrenherstellung sortenrein zur Verfügung stehen, um eine gute Glasqualität zu erreichen. Da die Glaszusammensetzung von Hersteller zu Hersteller bzw. abhängig vom Fabrikationszeitpunkt variieren kann, bekommt man ein undefiniertes Gemisch von Gläsern, das ständig auf seine aktuelle Zusammensetzung überprüft werden müßte. Die Glasfraktion sollte auch möglichst frei von Störstoffen sein, wie sie Leuchtstoffe, Graphitbeschichtungen und Metallteile darstellen.

Bereits Anfang 1992 wurde Glas aus einer Recyclinganlage für Ausschuß-Bildröhren zur Fa. Schott in Mainz geliefert, wo es zur Herstellung von neuem Konusglas für Bildröhren eingesetzt wurde [10]. Da es sich bei dem damals eingesetzten Konusglas um eine definierte Fraktion handelte, wurden die oben genannten Probleme weitgehend vermieden. Erste Versuche mit End-of-Life-Fernsehglas bei der Fa. Schott datieren von ca. 1993 [13].

Mittlerweile wird bei der Fa. Schott für die Herstellung von Konusglas bereits Mischglas aus der Aufbereitung von Bildröhren aus dem Post-Consumer-Bereich eingesetzt, das zuvor in einer Reinigungsstufe von allen Störstoffen befreit wurde. Die Anlagen, die eine Reinigung der Bildröhren im Auftrag der Fa. Schott durchführen, liegen in Brandenburg und Sachsen-Anhalt, für Bayern also eher ungünstig gelegen.

Da die Rezeptur auch bei der Herstellung von Konusglas in engen Toleranzen gehalten werden muss, liegt nach Angaben der Fa. Schott der maximale Einsatz in der Produktion bei wenigen Tausend Tonnen pro Jahr. Aufgrund der intensiven Anstrengungen der Fa. Schott im Bereich Bildröhrenrecycling kann aber damit gerechnet werden, dass die einsetzbare Menge an Altglas für die Neuglasproduktion noch steigen wird.

Einsatz in der NE-Metallurgie

Konusglas enthält z.T. über 20 % Bleioxid, das in Bleihütten zurückgewonnen werden kann. Während des Schmelzprozesses wird das Bleioxid reduziert und das Blei kann metallisch gewonnen werden. Das Glas hat aufgrund seines Gehaltes an Siliziumdioxid als schlackebildendes Material den zusätzlichen Nebeneffekt, dass es als Schlackenbildner fungiert und dadurch den sonst für die Verschlackung benötigten Quarzsand ersetzt. In den Bleihütten der Bundesrepublik Deutschland wird eine Verarbeitungskapazität für Konusglas von max. 1.000 t/a geschätzt.

Auch in Sekundärkupferhütten (Elektroofen) kann Bleiglas als Schlackenbildner eingesetzt werden, bei deutschen Sekundärkupferhütten steht derzeit eine Verwertungskapazität von maximal 5.000 t/a zur Verfügung. Die Trennung von Konus- und Schirmglas ist hierfür nicht zwingend erforderlich, so dass die belüfteten Bildröhren als Ganzes eingesetzt werden können.

Einsatz in der Behälterglasindustrie

Ein diffuser Eintrag von Bildröhrenglas und Bleikristallglas in die Behälterglasindustrie kann grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden. Früher trugen auch Bleikapseln von Weinflaschen zum Eintrag von Blei in den Altglasscherbenkreislauf bei. Dies hat europaweit zu einer Anreicherung von Blei im Behälterglas geführt.

In der EU-Verpackungsrichtlinie ist in Artikel 11 eine zeitlich gestufte Begrenzung der Gehalte an bestimmten Schwermetallen (Summe: Cadmium, Chrom, Quecksilber, Blei) für Verpackungen festgelegt worden. Ab 30.6.2001 gilt EU-weit der Grenzwert von 100 mg/kg, der derzeit gültige Grenzwert liegt bei 250 mg/kg (Richtlinie 94/62/EG). Da bereits jetzt die sichere Einhaltung des Grenzwertes u.a. in Deutschland Probleme bereitet, muss jede weitere zusätzliche Belastung des Behälterglaskreislaufes durch Schwermetalle vermieden werden. Ein gezielter Einsatz von Bildröhrenglas wird daher sowohl von der Behälterglasindustrie als auch von staatlicher Seite her abgelehnt.

Einsatz in der Flachglasindustrie

Die Flachglasindustrie setzt nach eigenen Angaben kein Bildröhrenglas ein und schließt auch zukünftig die Verwertung z. B. von Schirmglas aus.

Die im Bildröhrenglas enthaltenen Komponenten Blei, Barium und Strontium bereiten produktionstechnische Probleme. Ferner gibt es rechtliche Bestrebungen in der EU und in den USA, die Verwendung von Schwermetallen im Bereich des Automobilsektors zu minimieren.

Einsatz in der Mineralfaserindustrie

Der Einsatz von Bildröhrenglas in der Mineralfaserproduktion (Glas-, Steinwolle) wird von der Mineralfaserindustrie wegen des hohen Bleigehaltes ausgeschlossen. Sollte dennoch Bildröhrenglas in der Mineralfaserproduktion eingesetzt werden (vermisches Konus- und Schirmglas oder nur Konusglas), so ist dies als Beseitigung im Hauptzweck einzustufen. Derzeit erprobt die Mineralfaserindustrie den Einsatz von reinem Schirmglas.

Einsatz in der Textilglasfaserproduktion

Nach Untersuchungen der Technischen Universität Ilmenau eignet sich Bildröhrenglas zur Herstellung strahlenabsorbierender Textilgewebe.

Es ist geplant, die technischen Möglichkeiten in Zusammenarbeit mit einem Altglasaufbereiter und einem Glasfaserhersteller zu untersuchen.

Einsatz in der keramischen Industrie

„Keramische Werkstoffe“ sind eine Sammelbezeichnung für mehr oder weniger schwer schmelzbare aus tonmineralischen Rohstoffen hergestellte technische Erzeugnisse. Ein Unternehmen in den Niederlanden verwendet Mischglas zur Herstellung von Kacheln und ersetzt damit den als Flussmittel eingesetzten Feldspat. Ein deutsches Unternehmen setzt Schleifschlämme aus der Bildröhrenglas- und Bleiglasproduktion zur Herstellung von Ziegelsteinen ein.

Die Verwendung von Konusglas oder Mischglas zur Herstellung keramischer Produkte ist insbesondere wegen des hohen Bleieintrages in die Umwelt stark umstritten. Sie führt zu einer diffusen Schadstoffverteilung von Blei in normalerweise nur gering mit Blei belasteten kera-

mischen Produkten. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass insbesondere bei der späteren Entsorgung der Keramikwerkstoffe größere Umweltbelastungen entstehen, als dies bei der Herstellung der Produkte aus primären Rohstoffen der Fall wäre. Im übrigen kommt dem bleihaltigen Bildröhrenglas für die Ausprägung der materialspezifischen Eigenschaften der Keramikerzeugnisse keine Bedeutung zu. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Konus- oder Mischglas in diesem Bereich als Beseitigung im Hauptzweck einzustufen.

Einsatz als Strahlmittel

Der Einsatz von Glas als Strahlmittel wird aus Vorsorgegesichtspunkten (u.a. auch Arbeitsschutz) nicht befürwortet. Gemäß DIN 8201 Teil 7 muss der Massengehalt an SiO_2 in Strahlmitteln mindestens 65 % betragen. Gegen eine Verwendung von Konusglas (ca. 54 %) und teilweise auch von Schirmglas (ca. 60 %) spricht allein schon der relativ geringe SiO_2 -Gehalt. Im übrigen spricht auch die Freisetzung von aus in Bildröhrenglas enthaltenen Schadstoffen beim Entstrahlen (u.a. gebunden an Feinstäube) gegen den Einsatz als Strahlmittel.

Einsatz in der Baustoffindustrie

Grundsätzlich sind für die Verwertung von mineralischen Abfällen die Z 2-Werte der LAGA-Richtlinie „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ sowie die mit Rundschreiben vom 9. Sept. 1995 vom Bundesministerium für Verkehr veröffentlichten „Technischen Lieferbedingungen für Recycling-Baustoffe in Tragschichten ohne Bindemittel“ (Ausgabe 1995) zu beachten. Die Untersuchungen von Mischglasfraktionen belegen, dass bei entsprechender Körnung Eluatwerte entstehen können, die über die Z 2-Werte der LAGA-Richtlinie „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen“ hinausgehen. Aufgrund seines hohen Bleianteils von z.T. über 20 % sind demnach weder die Mischglasfraktion noch Konusglas für den eingeschränkten Einsatz nach Z 2 als mineralischer Baustoff geeignet. Die Eignung von reinem Schirmglas ist im Einzelfall zu prüfen, hierbei sind die im Glas enthaltenen Komponenten Barium und Antimon besonders zu beachten.

Einsatz als Bergversatzmittel

Grundsätzlich kommen Gläser aufgrund ihrer mineralischen Struktur als Material für den Bergversatz in Betracht, wenn das Bergwerk eine entsprechende Zulassung besitzt. Der Einsatz von gereinigten Schirmgläsern als Versatzmaterial dürfte demnach in aller Regel möglich sein. In den von der LAGA erarbeiteten „Abgrenzungskriterien für die stoffliche Verwertung von Abfällen in bergbaulichen Hohlräumen auf die Abfallwirtschaft“ sind diese Gläser in der relevanten Orientierungsliste jedoch nicht enthalten.

Grundsätzlich anders können sich die Rahmenbedingungen bei stark bleihaltigen Konus- und Mischfraktionen aus Schirmglas gestalten (Einzelfallprüfung). Aufgrund des hohen Bleigehaltes sollten Konusglas und Halsglas nicht im Bergversatz verwendet werden.

Bewertung der Verfahren

Als Fazit der oben genannten Verwertungsoptionen wird in der EAG-Richtlinie [2] festgestellt, dass es derzeit sowohl für die bleihaltigen Glassorten (Konus-, Halsglas, Glasfritte) als auch für das bariumhaltige Schirmglas mengenmäßig keine ausreichenden Optionen für eine hochwertige Verwertung gibt. Die Aufnahmekapazitäten für den Einsatz von gebrauchten Bildröhren in der Produktion von neuen Bildröhren werden aber voraussichtlich in den nächsten Jahren deutlich ausgebaut.

Sollten die Gläser außerhalb der Bildröhrenglasproduktion verwertet werden, so ist eine diffuse Verteilung von Schwermetallen in Produkten bzw. eine Kontamination von normalerweise schwermetallfreien Produkten durch Bildröhrenglas zu vermeiden.

Für die zur Verfügung stehenden Verwertungsoptionen werden bezüglich der Hochwertigkeit nach § 4 Abs. 3 KrW-/AbfG in der EAG-Richtlinie folgende Prioritäten angegeben:

1. Priorität:

- Rückführung von Schirm- und/oder Konusglas in die Konusglasproduktion.

2. Priorität:

- Einsatz von Mischglas oder unzerlegten, aber entlüfteten Bildröhren in der NE-Metallurgie
- Einsatz von Schirmglas in der Mineralfaserindustrie
- Einsatz von Konusglas oder Mischglas zur Herstellung strahlenabsorbierender Glasprodukte (u.a. Glasfasern)
- Einsatz von gereinigtem Schirmglas als Bergversatzmaterial
- Verwendung von gereinigtem Schirmglas in Bauprodukten (Einzelfallprüfung).

Soweit die anfallenden Bildschirmglasmengen nicht in den vorgenannten Verwertungsverfahren eingesetzt werden können, sollten die anfallenden Bildröhrengläser sicher auf Deponien abgelagert werden, wobei jedoch darauf geachtet werden muss, dass die Leuchtschicht vor der Deponierung entfernt wird.

7.5 Kunststoffe

Der Anteil der Kunststoffe am Gesamtgewicht des Elektronikschrottaufkommens in Deutschland beträgt etwa 19 % [6].

Neben der zu erwartenden Menge stellt auch die große Sortenvielfalt der Kunststoffe deren stoffliche Verwertung vor große Schwierigkeiten. Heute sind etwa 200 in der chemischen Struktur verschiedene Kunststoffe und rund 10.000 Compounds aus diesen Kunststoffen im Einsatz [10]. In Elektro- und Elektronikgeräten werden davon etwa 40 bis 60 verschiedene Kunststoffe eingesetzt, die sich durch eine Reihe von zugesetzten Additiven, Stabilisatoren und Füllstoffen nochmals unterscheiden können [12].

Grundsätzlich kann für Kunststoffe aus Elektroaltgeräten unterschieden werden zwischen

- werkstofflicher Verwertung,
- rohstofflicher Verwertung und
- energetischer Verwertung.

Im folgenden werden die aufgezählten Verwertungspfade kurz beschrieben.

7.5.1 Werkstoffliche Verwertung

Die werkstoffliche Verwertung wird bei Kunststoffen auf physikalischem Weg - durch Umschmelzen - erreicht. Aus Altkunststoffen werden durch physikalische Verfahren wieder Produkte aus Kunststoffen hergestellt, der Werkstoff Kunststoff bleibt also erhalten.

Thermoplaste sind die einzigen Kunststoffe, die werkstofflich wiederverwertet werden können. Bei den in elektrischen und elektronischen Geräten eingesetzten Gehäusekunststoffen handelt es sich vor allem um Thermoplaste, die Voraussetzungen für eine werkstoffliche Verwertung wären also gegeben. Die Schwierigkeit liegt aber bei der oben schon angesprochenen Sortenvielfalt und den Zusatzstoffen.

Um ein dem Neuprodukt gleichwertiges Recyclingprodukt aus Altkunststoffen herzustellen, muß der Altkunststoff möglichst sortenrein aus den EAG gewonnen werden. Da die Kunststoffteile kaum gekennzeichnet sind, müssen zur Trennung von Kunststoffgemischen andere Trennverfahren eingesetzt werden, z.B. Dichtentrennungen (im Schwere- oder Zentrifugalfeld). Da die Dichteunterschiede einiger Kunststoffe jedoch gering sind und auch unterschiedlich viel Füllstoffe enthalten sein können, überschneiden sich die Dichtebereiche einiger Kunststoffe. Eine Dichtentrennung führt also nie zu ganz reinen Fraktionen. Es lassen sich so aber immerhin Fraktionen mit Reinheiten von über 98 % gewinnen, jedoch nur bei bestimmten

Kunststoffmischungen, bei denen wenige Komponenten mit ausreichenden Dichteunterschieden enthalten sind [14].

Eine weitere Möglichkeit, sortenreine Kunststoffe zu gewinnen stellt die Sortierung mittels IR-Spektralanalyse dar. Da der Durchsatz von Kunststoffen bei einzelnen Demontagebetrieben jedoch gering ist und die Erkennungsgeräte einen hohen Einstandspreis haben, spielt diese Art der Kunststoffsartierung derzeit praktisch keine Rolle beim Kunststoffrecycling aus EAG.

Bei Kunststoffen aus Elektroaltgeräten ergibt sich zusätzlich die Problematik der Flamm- schutzmittel wie z.B. polybromierte Diphenylether (PBDE), Tetrabrombisphenol A (TBDA) und polybromierten Biphenylen (PBB). Werden Kunststoffe mit bromierten Flamm- schutzmitteln umgeschmolzen, besteht die Gefahr, dass dabei polybromierte Dibenzofurane und Dibenzodioxine entstehen. Für die beiden letztgenannten Substanzen existieren Grenzwerte in der Chemikalien-Verbotsverordnung vom 19.07.1996. Produkte, die diese Grenzwerte überschreiten, dürfen nicht mehr in Verkehr gebracht werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass die genannten Grenzwerte nicht sicher eingehalten werden können beim werkstofflichen Recycling von Kunststoffen aus EAG. Kritisch ist auch der Gehalt an Cadmium, das nicht selten für Gehäusekunststoffe verwendet wurde.

Gemäß der EAG-Richtlinie können Kunststoffe aus dem Elektro- und dem Elektronikbereich uneingeschränkt werkstofflich verwertet werden, wenn sie frei von halogenhaltigen Flamm- schutzmitteln und Antimontrioxid sind. Dies ist durch entsprechende Messungen oder verbindliche Angaben der Gerätehersteller zu dokumentieren.

Ist gewährleistet, dass recycelte Kunststoffe wieder im Elektrobereich eingesetzt werden (closed-Loop), dann können auch Kunststoffe mit halogenhaltigen Flamm- schutzmitteln (ausgenommen PBDE und PBB) werkstofflich verwertet werden.

Für Kunststoffe, bei denen PBDE oder PBB-haltige Flamm- schutzmittel nicht ausgeschlossen werden können, ist eine werkstoffliche Verwertung nicht zulässig.

7.5.2 Rohstoffliche Verwertung

Rohstoffliche Verwertung bedeutet, dass aus den Kunststoffen die bei ihrer Herstellung benötigten Rohstoffe wiedergewonnen werden. Es gibt dazu mehrere Verfahren wie z.B.

- Hydrierung,
- Solvolyse,

- Chemische Spaltung (Hydrolyse, Alkoholyse, Methanolyse oder Glykolyse) oder
- Synthesegaserzeugung.

Alle diese Verfahren haben die Gemeinsamkeit, dass auf chemischem Weg versucht wird, die Rohstoffe aus den Kunststoffen wiederzugewinnen und damit das Erdöl, das zu ihrer Produktion benötigt wird, zu substituieren. Mit diesen Verfahren kann man teilweise auch verunreinigte Kunststoffgemische aufarbeiten, weshalb auf diesem Gebiet aktiv Forschung betrieben wird. Nachteil ist die geringe Wertschöpfung der ausgeführten Verfahren, denn man ersetzt dadurch nur einen Rohstoff, das Erdöl, muß dafür aber einen vergleichsweise hohen Aufwand betreiben. Die Hydrierung wird zum Beispiel bei Drücken von 200 - 400 bar und Temperaturen von 380 - 500 °C durchgeführt. Der ökonomische und ökologische Nutzen der betreffenden Verfahren ist daher umstritten.

7.5.3 Energetische Verwertung

Bei der energetischen Verwertung werden die Kunststoffe unter Ausnutzung ihres Heizwertes verbrannt. Der Heizwert von Kunststoffen ist meist mit dem von Heizöl vergleichbar. Die freiwerdende Energie läßt sich z.B. für die Erzeugung von Strom und Fernwärme verwenden. Es können aber auch Rohöl oder andere Primärenergieträger bei der industriellen Produktion substituiert werden, wie z.B. bei der Zementindustrie. Ein besonderes Augenmerk sollte hierbei auf die Abgassituation gelegt werden. Die schon genannten Flammschutzmittel sind bekannte Präkursoren der Dioxinbildung. Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer Schadstoffe, die bei der Verbrennung von gemischten Kunststoffabfällen entstehen können, z.B. HCl aus PVC. Die Anlagen, die für eine thermische Verwertung von Kunststoffen vorgesehen werden, müssen daher mit einer effizienten Rauchgasreinigung ausgerüstet sein. Diese einfache und sicher auch kostengünstige Variante der energetischen Verwertung sollte aber nicht dazu verleiten, die oben beschriebenen Verwertungswege zu verlassen, wenn sie sich als ökologisch günstiger und wirtschaftlich machbar erweisen.

7.6 Leiterplatten

Die wohl charakteristischste Fraktion bei der Zerlegung von Elektroaltgeräten ist die der Leiterplatten. In Deutschland ist mit einem jährlichen Aufkommen von ca. 30.000 bis 45.000 Mg zu rechnen [2].

Leiterplatten bestehen bis etwa zur Hälfte aus inerten mineralischen Materialien, der Rest verteilt sich auf Kunststoffe und Metalle, wobei Kupfer und Eisen die Hauptkomponenten sind. Vor einer Verwertung der Leiterplatten müssen die schadstoffhaltigen Bauteile abgetrennt werden, dies geschieht bei der Entstückung der Leiterplatte.

Die typische Materialzusammensetzung einer bestückten Leiterplatte zeigt Abbildung 7.2.

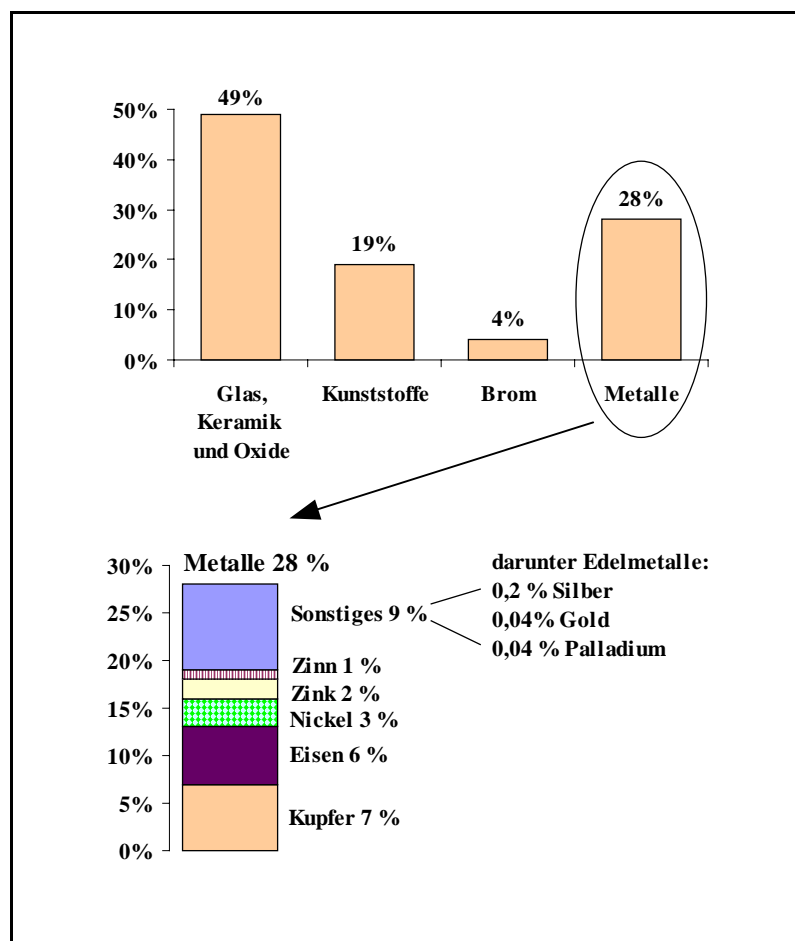


Abbildung 7.2: Typische Materialzusammensetzung bestückter Leiterplatten (nach [3])

Abhängig von der nachfolgenden Verwertung kommen drei Möglichkeiten der Entstückung in Betracht. Den geringsten Arbeitsaufwand stellt die Mindestentstückung der Leiterplatte dar,

bei der alle schadstoffhaltigen Bauteile entnommen werden wie beispielsweise quecksilberhaltige Bauteile, Batterien, Akkus und PCB-haltige Kondensatoren.

Bei einer Teilentstückung werden neben der Entfernung von schadstoffhaltigen Bauteilen auch (meist hochwertige) Funktionsteile für einen Wiedereinsatz gewonnen. Die entfrachteten Leiterplatten können anschließend einer mechanischen Aufbereitung und/oder einem Hüttenprozess zugeführt werden.

Als weitestgehende Entstückung kann die Vollentstückung genannt werden, bei der sämtliche Bauteile vom Basismaterial abgetrennt werden. Die Bauteile werden anschließend mit mechanischen Verfahren getrennt, um Schad- und Wertstoffe in einzelnen Fraktionen anzureichern. Das Basismaterial kann in einer mechanischen Aufbereitung und/oder einem Hüttenprozess verwertet werden. Eine werkstoffliche Verwertung des Leiterplattenbasismaterials ist aufgrund der Belastung mit bromierten Flammschutzmitteln in der Regel nicht durchführbar.

Die Verwertung von schadstoffentfrachteten Leiterplatten konzentriert sich auf die Rückgewinnung der darin vorhandenen Metalle. Für die anderen Materialien wie Glasfasern, Keramiken, Kunststoffe etc. gibt es keinen finanziellen Anreiz für ein Recycling. Zur Aufarbeitung von Leiterplatten, die durch eine große Materialvielfalt gekennzeichnet sind, werden hohe technologische Anforderungen an die Verfahren zur stofflichen Verwertung gestellt. Dabei kann prinzipiell zwischen folgenden Verfahren unterschieden werden:

- mechanische Verfahren
- thermische Verfahren (z.B. Kupferhütte oder Pyrolyse)
- hydrometallurgische Verfahren.

Die prinzipielle Vorgehensweise bei diesen Verfahren wird im folgenden kurz beschrieben.

7.6.1 Mechanische Verfahren

Bei der mechanischen Aufbereitung wird grundsätzlich nach dem Prinzip Zerkleinerung und anschließende Auftrennung des zerkleinerten Guts vorgegangen. Bei der Zerkleinerung kommen je nach Verfahren unterschiedliche Aggregate zum Einsatz, z.B. Schredder oder Hammermühlen. Da ein einzelnes Aggregat nicht immer die gewünschte Korngröße erreicht, werden oft mehrere Aggregate hintereinander geschaltet, um so eine möglichst vollständige Trennung der Metalle vom übrigen Gut zu erreichen. Die Zerkleinerungsaggregate müssen wegen Staub- und Geräusentwicklung mit Staubfiltern und Lärmkapselung ausgestattet werden. Der entstehende Staub birgt zusätzlich die Gefahr einer Staubexplosion, auch hierfür sollten

ausreichende Vorsorgemaßnahmen getroffen werden. Eine zu starke Temperaturerhöhung kann zum Erweichen oder Schmelzen der Kunststoffe führen, dies sollte ebenfalls verhindert werden, da dadurch Schadstoffe (z.B. Flammschutzmittel) aus den sich zersetzenden Kunststoffen entweichen können.

Die Trennung des zerkleinerten Gutes kann auf vielfältige Weise erfolgen. Zur Abscheidung von ferromagnetischen Stoffen bietet sich die Magnetscheidung in ihren verschiedenen Ausführungen an.

Die Separierung der Kunststoffe von der Schwerfraktion kann z.B. über Windsichter oder Schwingsiebe erfolgen. Die daraus erzielte Schwerfraktion, die NE-Metalle und inertes Material enthält, kann wiederum durch Wirbelstromscheider aufgetrennt werden. Je nach Ausführung der Trennanlage erzielt man dadurch Mischmetallkonzentrate von bis zu über 98 %-iger Reinheit [14], die von der Sekundärmetallurgie zu marktfähigen Produkten verarbeitet werden können. Die Leichtfraktion (Kunststoffe) und die nichtmetallische Schwerfraktion müssen anderweitig entsorgt werden.

7.6.2 Thermische Verfahren

Für eine thermische Aufbereitung von Leiterplatten stehen prinzipiell zwei Verfahren zur Verfügung, der direkte Einsatz der Leiterplatten in einer Kupferhütte oder Pyrolyse und anschließender Einsatz der Pyrolysereste in einer Kupferhütte.

In der Kupferhütte werden die vorzerkleinerten Leiterplatten an geeigneter Stelle, vorwiegend im Konverter, dem Kupfergewinnungsprozeß zugesetzt und bei 1.150 - 1.250 °C zu Rohkupfer verarbeitet. Der im Platinenschrott enthaltene Kunststoff verbrennt zusammen mit den darin vorhandenen organischen Zusätzen. Dadurch werden Primärenergieträger eingespart. Glasfasern und Keramik werden geschmolzen und als Schlacke abgetrennt. Eisen, Blei, Zink und Zinn werden oxidiert. Die Metalle Blei, Zink und Zinn findet man vorwiegend im Filterstaub wieder, da sie bei den vorherrschenden Temperaturen flüchtig sind. Der Filterstaub kann seinerseits aufgearbeitet werden und die darin enthaltenen Metalle werden durch Reduktion wiedergewonnen. Edelmetalle verbleiben zum großen Teil im Rohkupfer. Bei der elektrolytischen Raffination werden sie aber als Anodenschlamm abgeschieden und können in dieser Form von Edelmetallscheideanlagen wiedergewonnen werden [14].

Der Vorteil dieser Aufbereitungstechnik ist, dass eventuell in den Leiterplatten noch vorhandene organische Schadstoffe zerstört werden. Die thermischen Verfahren bergen jedoch auch die Gefahr von Dioxinmissionen in sich und sind daher Ziel von Kritik. Für den Fall einer

thermischen Aufbereitung sollte daher unbedingt großer Wert auf die Minimierung der Schadstoffemissionen gelegt werden.

Unter Pyrolyse versteht man die thermische Zersetzung von organischen Stoffen unter weitgehendem Sauerstoffabschluß bei Temperaturen zwischen ca. 500 und 700 °C. Bei der Pyrolyse von Leiterplatten entstehen aus den darin vorhandenen Kunststoffen Pyrolysegas, Pyrolyseöl und Pyrolysekoks als fester Rückstand. Glas, Keramik und die meisten Metalle verhalten sich bei diesen Reaktionsbedingungen inert und werden zusammen mit dem Pyrolysekoks als Feststoffe abgeschieden. Die Feststoffe können nach der Pyrolyse im Kupferverhüttungsprozess eingesetzt werden. Mit den Pyrolyseölen und -gasen können Strom und Fernwärme produziert werden, ein Einsatz von Pyrolyseöl in der Petrochemischen Industrie ist - nach entsprechender Reinigung - theoretisch möglich.

Die Pyrolyse von Leiterplatten wurde in einer großtechnischen Anlage mit einer Kapazität von 17 Mg pro Tag für die Verwertung von Produktionsabfällen aus der Leiterplattenfertigung umgesetzt. Diese Anlage steht in Bernau, Brandenburg, und wurde von der Firma BC Berlin Consult GmbH errichtet. Der Bau einer Anlage für Leiterplatten aus dem Post-Consumer-Bereich wurde von der Firma Berlin Consult überprüft, die Realisierung der Anlage jedoch aus Kostengründen wieder fallengelassen [15, 16].

7.6.3 Hydrometallurgische Verfahren

Bei der hydrometallurgischen Aufbereitung von Leiterplatten werden die Metalle naßchemisch aufgeschlossen. Für den Einsatz der Leiterplatten werden diese zuerst zerkleinert, um den Chemikalien eine größere Angriffsfläche zu bieten. Bei der Fa. MR Recycling Technologie in Neustadt (Wied) wird die Zerkleinerung bei einer Temperatur von 190 °C vorgenommen, um parallel das Lötzinn separat abzutrennen [14]. Die zerkleinerten Leiterplatten werden in einem zweiten Schritt mit geeigneten Chemikalien in einem Ätzbad gelaugt. Die Metalle (auch Edelmetalle) werden dadurch in Lösung gebracht. Sind die Metalle aufgelöst, kann der Feststoff, der die Kunststoffe, Keramik und Glas enthält, abgetrennt werden. Die in der Lösung verbliebenen Metalle können nun durch die üblichen hydrometallurgischen Verfahren, wie Elektrolyse, Fällung, Zementation oder Ionenaustausch selektiv gewonnen werden. Bei der Fa. MR Recycling Technologie wird die Reinheit des durch Ionenaustausch und mehrstufige Elektrolyse gewonnenen Kupfers mit 99,8 - 99,9 % angegeben. Angenommen werden dort bestückte Leiterplatten, die frei von PCB-haltigen Kondensatoren sein müssen. Quecksilberhaltige Bauteile stören nicht, da das Quecksilber bei der thermo-mechanischen Zerkleinerung abgetrennt und zurückgewonnen wird [14].

Bei dieser Verfahrensart ergeben sich ähnliche Probleme wie bei der mechanischen Aufbereitung [3]. Es kommt zu Edelmetallverlusten und die nichtmetallischen Reste der Leiterplatten müssen deponiert werden. Außerdem entstehen durch den Chemikalieneinsatz Rückstände (z.B. Schlämme), die aufgearbeitet oder aber deponiert werden müssen.

8 Schadstoffe

Im Anhang I der EAG-Richtlinie werden Stoffe bzw. Bauteile explizit aufgeführt, die aus Gründen der Verwertung oder Schadstoffentfrachtung aus den Elektroaltgeräten zu entnehmen sind. Beispiele für Schadstoffe oder schadstoffhaltige Bauteile sind

- Asbest/künstliche Mineralfasern, soweit Krebs erregend,
- Batterien,
- Bildröhren,
- Cd-haltige Bauteile,
- Chrom-VI-haltige Bauteile,
- FCKW,
- LED, arsenhaltig,
- PCB-haltige Bauelemente,
- Kondensatoren, PCB-haltig,
- Hg-Bauteile und
- Hg-Dampflampen/Leuchtstoffröhren.

Diese Schadstoffe sicher zu erfassen und fachgerecht zu verwerten oder zu entsorgen muss das Ziel der Behandlung von Elektroaltgeräten sein.

Hinsichtlich der fachgerechten Entsorgung enthält Anhang II zur EAG-Richtlinie Hinweise für die Zuordnung von schadstoffhaltigen Bauteilen und Stoffen zu EAK-Schlüsseln und auch Grundsätze für die Mindestbehandlung dieser Stoffe.

Gemäß der EAG-Richtlinie sind zur fachgerechten EAG-Behandlung beispielsweise Bildröhren aus Monitoren und Fernsehgeräten auszubauen und als besonders überwachungsbedürftiger Abfall (17 02 99 D1: Glas mit schädlichen Beimengungen) zu klassifizieren. Die Mindestbehandlung der ausgebauten Bildröhren entsprechend Anhang II zur EAG-Richtlinie fordert schließlich ein Entfernen der Leuchtschicht, nachdem der Bildschirm zuvor in Front- und Konusglas getrennt oder geschreddert wurde.

9 Empfehlungen

Das LfU empfiehlt, eine getrennte Sammlung von EAG bei den kommunalen Sammelstellen (Wertstoffhöfe oder temporäre Sammelstellen) einzurichten, sofern dies noch nicht erfolgt ist. Private Nutzer von Elektro- und Elektronikgeräten sollten dort die Möglichkeit haben, die Altgeräte möglichst gebührenfrei zurückzugeben. Dies würde die wilde Entsorgung (z.B. Kühlgeräte am Straßenrand) oder das Einbringen kleiner EAG in die Restmülltonne verringern. Dadurch können einerseits die in den EAG enthaltenen Wertstoffe zurückgewonnen und andererseits die in den Geräten enthaltenen Schadstoffe einer sachgerechten Entsorgung zugeführt werden. Um möglichst hohe Sammelmengen zu erreichen sollte eine verstärkte Öffentlichkeitsarbeit in diesem Bereich erfolgen.

Haushalts Großgeräte sollten getrennt vom übrigen Grobschrott gesammelt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Geräte zur Schadstoffentfrachtung nicht aus dem gesamten Schrott aussortiert werden müssen. Die Europäische Kommission fordert im Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Elektro- und Elektronikaltgeräte vom 13.06.2000 eine Mindestquote von durchschnittlich vier Kilogramm getrennt gesammelten Elektro- und Elektronikaltgeräten aus privaten Haushalten pro Einwohner und Jahr bis spätestens 31. Dezember 2005. Das Europäische Parlament fordert sogar eine Mindestquote von sechs Kilogramm pro Einwohner und Jahr. Eine vom sonstigen Grobschrott getrennte Sammlung von Haushalts Großgeräten wäre bei einer Ermittlung der Sammelquote für die EU-Richtlinie nötig.

Die Sammlung von Kleingeräten in den Wertstoffhöfen sollte in möglichst kleinen Gebinden (z.B. Gitterboxen) erfolgen, da dadurch der Anteil an beschädigten Geräten niedrig gehalten wird. Dieser Effekt wirkt sich aus in einer schnelleren Entladung der Geräte und geringeren Verletzungsgefahr bei den Demontagebetrieben und in einer besseren Zugänglichkeit an die Schadstoffe bei der Schadstoffentfrachtung.

Bei der Ausschreibung von Entsorgungsdienstleistungen im Bereich Elektroaltgeräte sollte auf die vertragliche Verpflichtung des Entsorgungsbetriebes zur Schadstoffentfrachtung geachtet werden. Auch für Haushalts Großgeräte sollte eine Schadstoffentfrachtung vertraglich festgelegt werden, da beispielsweise PCB-Kondensatoren bei Waschmaschinen nach wie vor auftreten. Auf die Verpflichtung des Entsorgungsbetriebes zu einer hochwertigen Verwertung der demontierten Fraktionen (z.B. Verwertung von Bildschirmglas in der Neuproduktion von Schirmglas) sollte ebenfalls geachtet und diese möglichst auch kontrolliert werden. Die EAG-Richtlinie gibt hierzu wertvolle Hinweise und enthält zudem Musterausschreibungen für den Bereich Kühlgeräte und Elektroaltgeräte. Eine weitere Musterausschreibung mit Checkliste ist

auch in der vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden Württemberg herausgegebenen Schrift „Handlungshilfen für Kommunen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten“ [18] enthalten.

Literaturverzeichnis

- [1] Ivišić Robert-Alojzije: „Erwartetes Altgeräteaufkommen als Grundlage zur Planung von Entsorgungskonzepten“. Entsorgungspraxis 4/2000, S. 23-26
- [2] Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (Hrsg.): „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten (EAG-Richtlinie)“, Stand: November 2000
- [3] Schlögl, M.: „Recycling von Elektro- und Elektronikschrott“. Vogel Verlag, Würzburg, 1995
- [4] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung: „Ausstattung privater Haushalte mit ausgewählten langlebigen Gebrauchsgütern in Bayern im Januar 1998“. München, 1999
- [5] Harant, M., Hochhuber, J., Lorber, K. E., Nelles, M., Rolland, Ch.: „Großversuch zur Sammlung und Verwertung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) in der Steiermark, Endbericht der wissenschaftlichen Begleitstudie. Veröffentlichung im Eigenverlag der steiermärkischen Landesregierung, Graz, 1998
- [6] bvse (Hrsg.): „Elektronikschrottreycling - Fakten, Zahlen und Verfahren“. Bonn, 1998
- [7] Koellner, W. & Fichtler, W.: „Recycling von Elektro- und Elektronikschrott“. Berlin, Heidelberg, 1996
- [8] Umweltbundesamt (Hrsg.): „Leitfaden zur Entsorgung von Kältegeräten“. Berlin, Januar 1998
- [9] Küst, S., Quelle AG: fernmündliche Auskunft am 06.02.2001
- [10] Tiltmann, K. O.; Schüren, A.: „Recyclingpraxis Elektronik“. Köln, 1994
- [11] Stroh, Reinhard; Neubacher, Franz; Bradac, Sabine: „Reststoffe aus der Aluminium-Verhüttung“. UBA-94-096; Wien, 1994
- [12] Große Ophoff, Markus; Gruber, Felix: „Elektronikschrott - Anforderungen an eine Entsorgung im Sinne der Schließung von Stoffkreisläufen“. AbfallwirtschaftsJournal 12/1995, Neuruppin, 1995
- [13] Döring, E.; Oberle, Th.: „Wertstoffkreisläufe für Spezialgläser schließen. Eine Bestandsaufnahme mit Blickrichtung Zukunft!“ Vortrag auf dem Symposium „Recycling von End-of-Life-Bildröhrengläsern im geschlossenen Kreislauf“. Bingen, 07.09.2000
- [14] Angerer, Gerhard; Bättcher, Karin; Bars, Peter: „Verwertung von Elektronikschrott“. Berlin, 1993
- [15] Lehmann, Firma Berlin Consult: fernmündliche Mitteilung am 18.01.2000

[16] Teller, M.; Gustmann, K.: Pyrocom Verfahren „Erprobung des Recyclings und der Entsorgung von Elektro- und Elektronikabfällen sowie flammfest ausgerüsteter Kunststoffabfälle im Technikumsmaßstab“. Abschlussbericht des BMFT-Forschungsvorhabens Pyrocom-Verfahren, Stand 24.03.1995

[17] Laufs, P.: „Stand und Entwicklung der Entsorgung von Elektro-Altgeräten in Hessen vor dem Hintergrund zu erwartender rechtlicher Regelungen“. Beitrag im Tagungsband zur Informationsveranstaltung „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten“ am 23.11.2000 in Friedberg

[18] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden Württemberg (Hrsg.): „Handlungshilfen für Kommunen zur Entsorgung von Elektro- und Elektronikaltgeräten“. UVM 53/98, Stuttgart, August 1998

A Anhang

Tabelle A.1: Rechnerisch ermitteltes Anfallpotenzial an **Kleingeräten** in den bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbänden und kommunal erfasste Mengen an Kleingeräten im Jahr 1999

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Kleingeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Kleinge- räten lt. Abfallbi- lanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Kleinge- räten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungs- grad in % |
|-------------------------|---|--|---|--------------------------|
| Stadt Ingolstadt | 653 | 61 | 0,5 | 9,3 |
| Stadt München | 6.809 | 1.142 | 1,0 | 16,8 |
| Stadt Rosenheim | 333 | 82 | 1,4 | 24,6 |
| Altötting | 614 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Berchtesgadener Land | 565 | 3 | 0,0 | 0,5 |
| Bad Tölz-Wolfratshausen | 650 | 111 | 1,0 | 17,1 |
| Dachau | 724 | 280 | 2,2 | 38,7 |
| Ebersberg | 660 | 88 | 0,8 | 13,3 |
| Eichstätt | 669 | 211 | 1,8 | 31,5 |
| Erding | 639 | 151 | 1,3 | 23,6 |
| Freising | 846 | 216 | 1,5 | 25,5 |
| Fürstenfeldbruck | 1084 | 394 | 2,1 | 36,4 |
| Garmisch-Partenkirchen | 491 | 107 | 1,2 | 21,8 |
| Landsberg a. Lech | 591 | 188 | 1,8 | 31,8 |
| Miesbach | 515 | 62 | 0,7 | 12,0 |
| Mühldorf a. Inn | 614 | 113 | 1,1 | 18,4 |
| München | 1.637 | 472 | 1,6 | 28,8 |
| Neuburg-Schrobenhausen | 504 | 114 | 1,3 | 22,6 |
| Pfaffenhofen a.d. Ilm | 624 | 219 | 2,0 | 35,1 |
| Rosenheim | 1.324 | 259 | 1,1 | 19,6 |
| Starnberg ³ | 698 | 615 | 5,0 | 88,1 |
| Traunstein | 948 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Weilheim-Schongau | 713 | 87 | 0,7 | 12,2 |
| Oberbayern | 22.902 | 4.975 | 1,2 | 21,7 |
| Stadt Landshut | 296 | 80 | 1,4 | 27,0 |
| Kelheim | 549 | 146 | 1,3 | 26,6 |
| Landshut | 707 | 309 | 2,2 | 43,7 |
| ZAW Donau-Wald | 2.609 | 409 | 0,8 | 15,7 |
| ZAW-SR Straubing | 700 | 111 | 0,8 | 15,9 |
| AWV Isar-Inn | 1.048 | 633 | 3,1 | 60,4 |
| Niederbayern | 5.908 | 1.688 | 1,4 | 28,6 |
| Stadt Amberg | 222 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Stadt Regensburg | 641 | 95 | 0,8 | 14,8 |
| Stadt Weiden i.d. OPf. | 221 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Amberg-Sulzbach | 552 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Cham | 670 | 142 | 1,1 | 21,2 |
| Neumarkt i.d. OPf. | 638 | 123 | 1,0 | 19,3 |
| Neustadt a.d. Waldnaab | 516 | 155 | 1,5 | 30,1 |
| Regensburg | 886 | 228 | 1,3 | 25,7 |
| Schwandorf | 730 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Tirschenreuth | 413 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Oberpfalz | 5489 | 743 | 0,7 | 13,5 |
| Stadt Bamberg | 363 | 246 | 3,6 | 67,8 |

³ Im Landkreis Starnberg werden Haushaltsgroßgeräte und Kleingeräte gemeinsam erfasst, die angegebene Menge von 698 Mg enthält daher auch die Haushaltsgroßgeräte.

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Kleingeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Kleinge- räten lt. Abfallbi- lanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Kleinge- räten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungs- grad in% |
|----------------------|---|--|---|-------------------------|
| Stadt Bayreuth | 388 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Stadt Coburg | 229 | 4 | 0,1 | 1,8 |
| Bamberg | 743 | 177 | 1,3 | 23,8 |
| Bayreuth | 574 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Coburg | 487 | 48 | 0,5 | 9,9 |
| Forchheim | 590 | 42 | 0,4 | 7,1 |
| Kronach | 402 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Kulmbach | 416 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Lichtenfels | 374 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Wunsiedel | 460 | 41 | 0,5 | 8,9 |
| AZV Hof | 850 | 91 | 0,6 | 10,7 |
| Oberfranken | 5.873 | 649 | 0,6 | 11,1 |
| Stadt Ansbach | 225 | 14 | 0,3 | 6,2 |
| Stadt Erlangen | 564 | 148 | 1,5 | 26,3 |
| Stadt Fürth | 615 | 2 | 0,0 | 0,3 |
| Stadt Nürnberg | 2.727 | 596 | 1,2 | 21,9 |
| Stadt Schwabach | 212 | 41 | 1,1 | 19,4 |
| Ansbach | 1.018 | 349 | 1,9 | 34,3 |
| Erlangen-Höchstadt | 717 | 102 | 0,8 | 14,2 |
| Fürth | 637 | 84 | 0,7 | 13,2 |
| Nürnberger Land | 937 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Neustadt a. d. Aisch | 549 | 32 | 0,3 | 5,8 |
| Roth | 688 | 170 | 1,4 | 24,7 |
| Weißenburg-Gunzenh. | 533 | 53 | 0,6 | 10,0 |
| Mittelfranken | 9.420 | 1.591 | 0,9 | 16,9 |
| Stadt Aschaffenburg | 345 | 134 | 2,0 | 38,9 |
| Stadt Schweinfurt | 281 | 48 | 0,9 | 17,1 |
| Stadt Würzburg | 647 | 3 | 0,0 | 0,5 |
| Aschaffenburg | 889 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Bad Kissingen | 562 | 183 | 1,7 | 32,5 |
| Rhön-Grabfeld | 446 | 101 | 1,2 | 22,6 |
| Haßberge | 453 | 113 | 1,3 | 25,0 |
| Kitzingen | 454 | 3 | 0,0 | 0,7 |
| Miltenberg | 669 | 18 | 0,1 | 2,7 |
| Main-Spessart | 678 | 66 | 0,5 | 9,7 |
| Schweinfurt | 596 | 126 | 1,1 | 21,2 |
| Würzburg | 812 | 88 | 0,6 | 10,8 |
| Unterfranken | 6.831 | 883 | 0,7 | 12,9 |
| Stadt Augsburg | 1.335 | 267 | 1,0 | 20,0 |
| Stadt Kaufbeuren | 219 | 113 | 2,7 | 51,6 |
| Stadt Memmingen | 215 | 13 | 0,3 | 6,1 |
| Aichach-Friedberg | 635 | 292 | 2,4 | 46,0 |
| Augsburg | 1.227 | 327 | 1,4 | 26,7 |
| Günzburg | 636 | 213 | 1,8 | 33,5 |
| Neu-Ulm | 833 | 244 | 1,5 | 29,3 |
| Ostallgäu | 683 | 248 | 1,9 | 36,3 |
| Unterallgäu | 694 | 137 | 1,0 | 19,7 |
| Nordschwäbischer AWV | 1165 | 568 | 2,6 | 48,8 |
| ZAK Kempten | 1491 | 581 | 2,0 | 39,0 |
| Schwaben | 9.132 | 3.003 | 1,7 | 32,9 |
| Bayern gesamt | 65.554 | 13.532 | 1,1 | 20,6 |

Tabelle A.2: Rechnerisch ermitteltes Anfallpotenzial an **Großgeräten** in den bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbänden im Vergleich zu den kommunal erfassten Mengen (geschätzt) an Großgeräten im Jahr 1999

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Großgeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Großgeräten lt. Abfallbilanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Großgeräten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungsgrad in% |
|-------------------------|--|---|--|--------------------|
| Stadt Ingolstadt | 539 | 122 | 1,1 | 22,5 |
| Stadt München | 5.622 | 1.391 | 1,2 | 24,7 |
| Stadt Rosenheim | 275 | 218 | 3,7 | 79,2 |
| Altötting | 507 | 0 | 0,0 | 0,0 |
| Berchtesgadener Land | 466 | 97 | 1,0 | 20,8 |
| Bad Tölz-Wolfratshausen | 537 | 252 | 2,2 | 47,0 |
| Dachau | 598 | 273 | 2,1 | 45,6 |
| Ebersberg | 545 | 200 | 1,7 | 36,8 |
| Eichstätt | 552 | 283 | 2,4 | 51,1 |
| Erding | 528 | 373 | 3,3 | 70,6 |
| Freising | 698 | 421 | 2,8 | 60,3 |
| Fürstenfeldbruck | 895 | 527 | 2,8 | 58,9 |
| Garmisch-Partenkirchen | 405 | 309 | 3,6 | 76,2 |
| Landsberg a. Lech | 488 | 382 | 3,7 | 78,3 |
| Miesbach | 425 | 317 | 3,5 | 74,5 |
| Mühldorf a. Inn | 507 | 11 | 0,1 | 2,1 |
| München | 1.352 | 445 | 1,6 | 32,9 |
| Neuburg-Schrobenhausen | 416 | 345 | 3,9 | 82,8 |
| Pfaffenhofen a.d. Ilm | 516 | 295 | 2,7 | 57,1 |
| Rosenheim | 1.093 | 733 | 3,2 | 67,1 |
| Starnberg | 576 | 344 | 2,8 | 59,7 |
| Traunstein | 783 | 8 | 0,0 | 1,0 |
| Weilheim-Schongau | 588 | 210 | 1,7 | 35,7 |
| Oberbayern | 18.910 | 7.556 | 1,9 | 40,0 |
| Stadt Landshut | 245 | 72 | 1,2 | 29,5 |
| Kelheim | 453 | 150 | 1,4 | 33,2 |
| Landshut | 584 | 370 | 2,7 | 63,5 |
| ZAW Donau-Wald | 2.154 | 1.516 | 2,9 | 70,4 |
| ZAW-SR Straubing | 578 | 439 | 3,2 | 76,0 |
| AWV Isar-Inn | 865 | 803 | 3,9 | 92,8 |
| Niederbayern | 4.879 | 3.350 | 2,9 | 68,7 |
| Stadt Amberg | 183 | 27 | 0,6 | 14,8 |
| Stadt Regensburg | 530 | 178 | 1,4 | 33,7 |
| Stadt Weiden i.d. OPf. | 183 | 67 | 1,6 | 36,7 |
| Amberg-Sulzbach | 456 | 245 | 2,3 | 53,6 |
| Cham | 553 | 358 | 2,7 | 64,7 |
| Neumarkt i.d. OPf. | 527 | 246 | 2,0 | 46,7 |
| Neustadt a.d. Waldnaab | 426 | 62 | 0,6 | 14,4 |
| Regensburg | 731 | 482 | 2,8 | 66,0 |
| Schwandorf | 603 | 381 | 2,7 | 63,2 |
| Tirschenreuth | 341 | 107 | 1,3 | 31,5 |
| Oberpfalz | 4.532 | 2.153 | 2,0 | 47,5 |
| Stadt Bamberg | 300 | 27 | 0,4 | 9,0 |
| Stadt Bayreuth | 321 | 82 | 1,1 | 25,6 |
| Stadt Coburg | 189 | 69 | 1,6 | 36,3 |
| Bamberg | 614 | 392 | 2,8 | 63,9 |
| Bayreuth | 474 | 148 | 1,4 | 31,2 |

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Großgeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Großge- räten lt. Abfallbi- lanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Großgerä- ten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungs- grad in% |
|-----------------------------|--|---|--|-------------------------|
| Coburg | 402 | 133 | 1,4 | 33,1 |
| Forchheim | 487 | 314 | 2,8 | 64,4 |
| Kronach | 332 | 136 | 1,8 | 40,9 |
| Kulmbach | 343 | 144 | 1,8 | 41,8 |
| Lichtenfels | 308 | 124 | 1,8 | 40,3 |
| Wunsiedel | 379 | 188 | 2,2 | 49,5 |
| AZV Hof | 702 | 303 | 1,9 | 43,1 |
| Oberfranken | 4.849 | 2.060 | 1,8 | 42,5 |
| Stadt Ansbach | 186 | 47 | 1,2 | 25,1 |
| Stadt Erlangen | 466 | 243 | 2,4 | 52,2 |
| Stadt Fürth | 508 | 226 | 2,1 | 44,5 |
| Stadt Nürnberg | 2.252 | 1.024 | 2,1 | 45,5 |
| Stadt Schwabach | 175 | 106 | 2,8 | 60,5 |
| Ansbach | 841 | 423 | 2,3 | 50,3 |
| Erlangen-Höchststadt | 592 | 267 | 2,1 | 45,1 |
| Fürth | 526 | 210 | 1,8 | 40,0 |
| Nürnberger Land | 773 | 381 | 2,3 | 49,2 |
| Neustadt a. d. Aisch | 453 | 145 | 1,5 | 31,9 |
| Roth | 568 | 113 | 0,9 | 20,0 |
| Weißenburg- Gunzenhausen | 440 | 113 | 1,2 | 25,6 |
| Mittelfranken | 7.778 | 3.298 | 2,0 | 42,4 |
| Stadt Aschaffenburg | 284 | 129 | 1,9 | 45,2 |
| Stadt Schweinfurt | 232 | 80 | 1,5 | 34,4 |
| Stadt Würzburg | 534 | 143 | 1,1 | 26,8 |
| Aschaffenburg | 734 | 311 | 1,8 | 42,3 |
| Bad Kissingen | 464 | 197 | 1,8 | 42,3 |
| Rhön-Grabfeld | 368 | 112 | 1,3 | 30,4 |
| Haßberge | 374 | 248 | 2,8 | 66,3 |
| Kitzingen | 375 | 135 | 1,5 | 36,0 |
| Miltenberg | 553 | 325 | 2,5 | 58,7 |
| Main-Spessart | 560 | 201 | 1,5 | 36,0 |
| Schweinfurt | 492 | 241 | 2,1 | 49,1 |
| Würzburg | 670 | 148 | 0,9 | 22,0 |
| Unterfranken | 5.641 | 2.270 | 1,7 | 40,2 |
| Stadt Augsburg | 1.103 | 179 | 0,7 | 16,3 |
| Stadt Kaufbeuren | 181 | 86 | 2,1 | 47,5 |
| Stadt Memmingen | 177 | 26 | 0,6 | 14,9 |
| Aichach-Friedberg | 524 | 363 | 3,0 | 69,3 |
| Augsburg | 1.013 | 594 | 2,5 | 58,7 |
| Günzburg | 525 | 420 | 3,5 | 79,9 |
| Neu-Ulm | 688 | 372 | 2,3 | 54,1 |
| Ostallgäu | 564 | 471 | 3,6 | 83,5 |
| Unterallgäu | 573 | 277 | 2,1 | 48,3 |
| Nordschwäbischer AWW | 962 | 436 | 2,0 | 45,3 |
| ZAK Kempten | 1.231 | 1.547 | 5,4 | 125,6 |
| Schwaben | 7.540 | 4.771 | 2,7 | 63,3 |
| Bayern gesamt | 54.129 | 25.450 | 2,1 | 47,0 |

Tabelle A.3: Rechnerisch ermitteltes Anfallpotenzial an **Kühlgeräten** in den bayerischen Gebietskörperschaften bzw. Abfallzweckverbänden im Vergleich zu den kommunal erfassten Mengen an Kühlgeräten im Jahr 1999

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Kühlgeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Kühlgeräten lt. Abfallbilanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an gebrauchten Kühlgeräten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungsgrad in% |
|-------------------------|--|---|--|--------------------|
| Stadt Ingolstadt | 250 | 102 | 0,9 | 40,8 |
| Stadt München | 2.604 | 931 | 0,8 | 35,8 |
| Stadt Rosenheim | 127 | 44 | 0,8 | 34,5 |
| Altötting | 235 | 58 | 0,5 | 24,7 |
| Berchtesgadener Land | 216 | 7 | 0,1 | 3,2 |
| Bad Tölz-Wolfratshausen | 249 | 149 | 1,3 | 60,0 |
| Dachau | 277 | 88 | 0,7 | 31,8 |
| Ebersberg | 252 | 19 | 0,2 | 7,5 |
| Eichstätt | 256 | 129 | 1,1 | 50,4 |
| Erding | 244 | 150 | 1,3 | 61,4 |
| Freising | 323 | 59 | 0,4 | 18,2 |
| Fürstenfeldbruck | 414 | 156 | 0,8 | 37,7 |
| Garmisch-Partenkirchen | 188 | 65 | 0,8 | 34,7 |
| Landsberg a. Lech | 226 | 114 | 1,1 | 50,5 |
| Miesbach | 197 | 56 | 0,6 | 28,5 |
| Mühldorf a. Inn | 235 | 38 | 0,4 | 16,2 |
| München | 626 | 223 | 0,8 | 35,6 |
| Neuburg-Schrobenhausen | 193 | 69 | 0,8 | 35,8 |
| Pfaffenhofen a.d. Ilm | 239 | 44 | 0,4 | 18,4 |
| Rosenheim | 506 | 160 | 0,7 | 31,6 |
| Starnberg | 267 | 64 | 0,5 | 24,0 |
| Traunstein | 362 | 37 | 0,2 | 10,2 |
| Weilheim-Schongau | 273 | 111 | 0,9 | 40,7 |
| Oberbayern | 8.757 | 2.873 | 0,7 | 32,8 |
| Stadt Landshut | 113 | 55 | 0,9 | 48,5 |
| Kelheim | 210 | 57 | 0,5 | 27,2 |
| Landshut | 270 | 100 | 0,7 | 37,0 |
| ZAW Donau-Wald | 998 | 502 | 1,0 | 50,3 |
| ZAW-SR Straubing | 268 | 138 | 1,0 | 51,6 |
| AWV Isar-Inn | 401 | 294 | 1,4 | 73,4 |
| Niederbayern | 2.259 | 1.146 | 1,0 | 50,7 |
| Stadt Amberg | 85 | 33 | 0,8 | 39,0 |
| Stadt Regensburg | 245 | 109 | 0,9 | 44,4 |
| Stadt Weiden i.d. OPf. | 85 | 40 | 0,9 | 47,3 |
| Amberg-Sulzbach | 211 | 99 | 0,9 | 46,9 |
| Cham | 256 | 29 | 0,2 | 11,3 |
| Neumarkt i.d. OPf. | 244 | 64 | 0,5 | 26,2 |
| Neustadt a.d. Waldnaab | 197 | 72 | 0,7 | 36,5 |
| Regensburg | 339 | 166 | 1,0 | 49,0 |
| Schwandorf | 279 | 31 | 0,2 | 11,1 |
| Tirschenreuth | 158 | 68 | 0,8 | 43,1 |
| Oberpfalz | 2.099 | 711 | 0,7 | 33,9 |
| Stadt Bamberg | 139 | 71 | 1,0 | 51,2 |
| Stadt Bayreuth | 148 | 71 | 1,0 | 47,8 |
| Stadt Coburg | 87 | 48 | 1,1 | 54,9 |
| Bamberg | 284 | 71 | 0,5 | 25,0 |
| Bayreuth | 219 | 102 | 0,9 | 46,5 |

| | Rechnerisches Aufkommen an gebrauchten Kühlgeräten in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Kühlge- räten lt. Abfallbi- lanz 1999 in Mg/a | Kommunal erfasste Mengen an ge- brauchten Kühlgerä- ten lt. Abfallbilanz 1999 in kg/EW*a | Erfassungs- grad in% |
|-----------------------------|--|---|--|-------------------------|
| Coburg | 186 | 67 | 0,7 | 36,0 |
| Forchheim | 225 | 63 | 0,6 | 28,0 |
| Kronach | 154 | 18 | 0,2 | 11,7 |
| Kulmbach | 159 | 74 | 0,9 | 46,6 |
| Lichtenfels | 143 | 67 | 0,9 | 46,9 |
| Wunsiedel | 176 | 62 | 0,7 | 35,3 |
| AZV Hof | 325 | 148 | 0,9 | 45,6 |
| Oberfranken | 2.245 | 862 | 0,8 | 38,4 |
| Stadt Ansbach | 86 | 13 | 0,3 | 15,1 |
| Stadt Erlangen | 216 | 86 | 0,9 | 39,9 |
| Stadt Fürth | 235 | 91 | 0,8 | 38,7 |
| Stadt Nürnberg | 1.043 | 496 | 1,0 | 47,6 |
| Stadt Schwabach | 81 | 38 | 1,0 | 46,9 |
| Ansbach | 389 | 176 | 1,0 | 45,2 |
| Erlangen-Höchstadt | 274 | 81 | 0,6 | 29,6 |
| Fürth | 244 | 108 | 1,0 | 44,3 |
| Nürnberger Land | 358 | 100 | 0,6 | 27,9 |
| Neustadt a. d. Aisch | 210 | 104 | 1,1 | 49,6 |
| Roth | 263 | 123 | 1,0 | 46,8 |
| Weißenburg- Gunzenhausen | 204 | 85 | 0,9 | 41,7 |
| Mittelfranken | 3.602 | 1.501 | 0,9 | 41,7 |
| Stadt Aschaffenburg | 132 | 74 | 1,1 | 56,2 |
| Stadt Schweinfurt | 108 | 37 | 0,7 | 34,4 |
| Stadt Würzburg | 247 | 111 | 0,9 | 44,9 |
| Aschaffenburg | 340 | 124 | 0,7 | 36,5 |
| Bad Kissingen | 215 | 109 | 1,0 | 50,7 |
| Rhön-Grabfeld | 171 | 92 | 1,1 | 53,9 |
| Haßberge | 173 | 99 | 1,1 | 57,2 |
| Kitzingen | 174 | 102 | 1,2 | 58,7 |
| Miltenberg | 256 | 164 | 1,3 | 64,1 |
| Main-Spessart | 259 | 143 | 1,1 | 55,2 |
| Schweinfurt | 228 | 169 | 1,5 | 74,2 |
| Würzburg | 310 | 55 | 0,3 | 17,7 |
| Unterfranken | 2.612 | 1.279 | 1,0 | 49,0 |
| Stadt Augsburg | 511 | 177 | 0,7 | 34,7 |
| Stadt Kaufbeuren | 84 | 69 | 1,7 | 82,3 |
| Stadt Memmingen | 82 | 22 | 0,5 | 26,8 |
| Aichach-Friedberg | 243 | 82 | 0,7 | 33,8 |
| Augsburg | 469 | 174 | 0,7 | 37,1 |
| Günzburg | 243 | 22 | 0,2 | 9,0 |
| Neu-Ulm | 318 | 39 | 0,2 | 12,2 |
| Ostallgäu | 261 | 117 | 0,9 | 44,8 |
| Unterallgäu | 266 | 107 | 0,8 | 40,3 |
| Nordschwäbischer AWW | 445 | 189 | 0,9 | 42,4 |
| ZAK Kempten | 570 | 339 | 1,2 | 59,5 |
| Schwaben | 3.492 | 1.337 | 0,8 | 38,3 |
| Bayern gesamt | 25.067 | 9.709 | 0,8 | 38,7 |

Tabelle A.4: Jährliches Anfallpotenzial von Geräten der Unterhaltungselektronik in Bayern (Stück)

| Region | TV-Geräte | Videorecorder | Video-kameras/ Camcorder | Rundfunk- geräte/Radio- recorder | HiFi- Anlagen | Satelliten- empfangs- anlagen |
|--------------------|----------------|----------------|-----------------------------|--|------------------|-------------------------------------|
| Oberbayern | 252.300 | 165.500 | 62.900 | 332.000 | 193.500 | 59.700 |
| Nieder- bayern | 65.100 | 42.700 | 16.200 | 85.700 | 49.900 | 15.400 |
| Oberpfalz | 60.500 | 39.700 | 15.100 | 79.600 | 46.400 | 14.300 |
| Oberfranken | 64.700 | 42.400 | 16.100 | 85.100 | 49.600 | 15.300 |
| Mittel- franken | 103.800 | 68.100 | 25.900 | 136.600 | 79.600 | 24.500 |
| Unterfranken | 75.300 | 49.400 | 18.800 | 99.000 | 57.700 | 17.800 |
| Schwaben | 100.600 | 66.000 | 25.100 | 132.400 | 77.100 | 23.800 |
| Bayern | 722.300 | 473.800 | 180.000 | 950.400 | 553.800 | 170.800 |

Tabelle A.5: Jährliches Anfallpotenzial von Geräten der Informations- und Kommunikationstechnik in Bayern (Stück)

| Region | Telefone | Anrufbeantworter | Faxgeräte | PC |
|---------------|----------------|------------------|----------------|----------------|
| Oberbayern | 302.600 | 98.000 | 46.300 | 111.300 |
| Niederbayern | 78.100 | 25.300 | 11.900 | 28.700 |
| Oberpfalz | 72.500 | 23.500 | 11.100 | 26.700 |
| Oberfranken | 77.600 | 25.100 | 11.900 | 28.500 |
| Mittelfranken | 124.500 | 40.300 | 19.000 | 45.800 |
| Unterfranken | 90.300 | 29.200 | 13.800 | 33.200 |
| Schwaben | 120.700 | 39.100 | 18.500 | 44.400 |
| Bayern | 866.100 | 280.400 | 132.500 | 318.600 |

Tabelle A.6: Jährliches Anfallpotenzial von Haushaltskleingeräten in Bayern (Stück)

| Region | Toaster | Kaffeemaschinen | Bügeleisen | Föhne | Mikrowellen | Staubsauger | Rasierapparate | Mixer |
|---------------|----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Oberbayern | 254.000 | 161.800 | 1.855.100 | 268.000 | 136.400 | 299.800 | 189.400 | 252.200 |
| Niederbayern | 65.500 | 41.700 | 478.600 | 69.100 | 35.200 | 77.300 | 48.800 | 65.100 |
| Oberpfalz | 60.900 | 38.800 | 444.600 | 64.200 | 32.700 | 71.800 | 45.400 | 60.500 |
| Oberfranken | 65.100 | 41.500 | 475.700 | 68.700 | 35.000 | 76.900 | 48.600 | 64.700 |
| Mittelfranken | 104.500 | 66.500 | 763.000 | 110.200 | 56.100 | 123.300 | 77.900 | 103.700 |
| Unterfranken | 75.800 | 48.200 | 553.300 | 79.900 | 40.700 | 89.400 | 56.500 | 75.200 |
| Schwaben | 101.300 | 64.500 | 739.700 | 106.800 | 54.400 | 119.500 | 75.500 | 100.600 |
| Bayern | 727.000 | 463.000 | 5.310.000 | 767.000 | 390.500 | 858.000 | 542.000 | 722.000 |

Tabelle A.7: Jährliches Anfallpotenzial von Haushaltsgroßgeräten in Bayern (Stück)

| Region | Kühlschränke | Gefrierschränke | Geschirrspülmaschinen | Waschmaschinen | Wäschetrockner | Herde |
|---------------|----------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Oberbayern | 140.100 | 110.200 | 66.300 | 116.800 | 42.300 | 60.100 |
| Niederbayern | 36.100 | 28.400 | 17.100 | 30.100 | 10.900 | 15.500 |
| Oberpfalz | 33.600 | 26.400 | 15.900 | 28.000 | 10.100 | 14.400 |
| Oberfranken | 35.900 | 28.200 | 17.000 | 30.000 | 10.800 | 15.400 |
| Mittelfranken | 57.600 | 45.300 | 27.300 | 48.100 | 17.400 | 24.700 |
| Unterfranken | 41.800 | 32.900 | 19.800 | 34.800 | 12.600 | 17.900 |
| Schwaben | 55.800 | 43.900 | 26.400 | 46.600 | 16.900 | 24.000 |
| Bayern | 400.900 | 315.300 | 189.800 | 334.400 | 121.100 | 172.000 |



Entsorgungswegweiser Elektronikschrott

Rücknahme von Elektronikschrott im Handel und von Herstellern¹⁾

1.1 Computerbereich

52 Anbieter angesprochen, davon bieten 12 (23%) die Rücknahme an:

| Firma | Produkte, die zurückgenommen werden | Rücknahmeort | Konditionen | Einschränkungen |
|--|---|--|---|--|
| Apple Computer GmbH | PC, Laptops/Notebook, Monitore, Drucker, Scanner, Modems, Verbrauchsmaterialien | bei autorisierten Händlern | kostenlos | nur Eigenmarken |
| Canon | Drucker, Scanner, Notebooks, Tonerpatronen | über Handel | keine Angaben | nur Eigenmarken |
| Comtech Computersysteme GmbH | PC, Verbrauchsmaterial, CD-ROMs | in allen comtech-Filialen | kostenlos bei Neukauf | nur Eigenmarken bei PC |
| Color Technology consulting GmbH | Drucker (Marke Tally) | keine Angabe | kostenlos bei Neukauf | nur Geräte die von der Firma verkauft wurden |
| Epson Deutschland GmbH | Drucker, Scanner, Verbrauchsmaterial | Rücknahmesystem befindet sich im Aufbau | | |
| IBM Deutschland Informationssysteme GmbH | PC, Laptops/Notebooks, Monitore, Drucker, Modems | Abgabe im Rücknahmezentrum in Mainz | ab 25,- DM pro PC (gewichtsabhängig) | nur Eigenmarken |
| Karstadt AG | PC, Laptops/Notebooks, Monitore, Drucker, Scanner, Modems, Komponente, Verbrauchsmaterialien, Tastatur, Netzteile | in Verkaufsabteilung und/oder Servicecenter | z.T. kostenlos bzw. bei Neukauf kostenlos, ggf. Kostenbeitrag | auch Fremdmarken |
| Kyocera Electronics Europe GmbH | Drucker | bei autorisierten Händlern | kostenlos bei Neukauf, ansonsten Kostenbeitrag vom Händler abhängig | nur Eigenmarken |
| OKI Systems GmbH | Drucker, Fax, Verbrauchsmaterial wie Farbbänder, Tonerbehälter, Bildtrommeln | Händler oder direkt nach OKI einschicken | Versandkosten, ansonsten kostenfrei bei OKI, ggf. Kosten beim Händler | nur Eigenmarken |
| Siemens AG | | | | |
| 1. Siemens ICP CS, Paderborn | PC, Laptops/Notebooks, Monitore | Siemens IT-Service Shops in größeren Städten | PC 20,- DM, Monitor 20,- DM, Notebook 18,- DM, PC u. Monitore mit Umweltzeichen werden kostenlos zurückgenommen | nur Eigenmarken |

1) Umfrage der Verbraucher-Zentrale NRW bei Herstellern und großen Anbietern 6/1999, ergänzt 9/1999

| Firma | Produkte, die zurückgenommen werden | Rücknahmeort | Konditionen | Einschränkungen |
|--|--|--|---|--|
| 2. Siemens ATD TD DGR, Essen , Frohnhauser Str. 64 | Computer, Laptops/Notebooks, Monitore, Drucker, Scanner, Modems, Spielekonsole, Komponente, elektr. Computer-Zubehör | Anlieferung in Essen oder kostenpflichtige Abholung | teilweise kostenlos, abhängig vom Gerät auch kostenpflichtig, keine genauen Angaben | auch Fremdmarken werden angenommen |
| Sony Deutschland GmbH | Monitore | in 450 Annahmestellen im Handel in D oder bei Niederlassungen der Rethmann Entsorgungswirtschaft | kostenlos bei Neukauf | auch Fremdmarken werden angenommen |
| Toshiba Europe GmbH | PC, Laptops/Notebooks, Monitore, Drucker, Scanner, Modems, Komponente, Zubehör wie Laufwerke | beim Fachhandel, regional sehr unterschiedlich | bei Neukauf ggf. kostenlos, Kostenbeitrag regional unterschiedlich | auch Fremdmarken werden angenommen Anm.: Ausbau geplant |

1.2 Fernseher

15 Anbieter angesprochen, davon bieten 3 (20 %) die Rücknahme an:

| Firma | Rücknahmeort | Konditionen | Einschränkungen |
|--|---|---|--|
| Grundig Öko-Technologie | Handel | kostenlos | nur Eigenmarken der Baujahre 1992 - 98 |
| Karstadt AG | Verkaufsabteilung und/oder Service-Center | z.T. kostenlos bzw. bei Neukauf kostenlos, ggf. Kostenbeitrag | auch Fremdmarken |
| Siemens ATD TD DGR, Essen , Frohnhauser Str. 64 | Anlieferung in Essen oder kostenpflichtige Abholung | teilweise kostenlos, abhängig vom Gerät auch kostenpflichtig, keine genauen Angaben | auch Fremdmarken werden angenommen |

1.3 Telefone/Handys

27 Anbieter angesprochen, davon bieten 4 (15 %) die Rücknahme an:

| Firma | Rücknahmeort | Konditionen | Einschränkungen |
|--|--|---|------------------------------------|
| Ascom Deutschland GmbH | Einsendung in die zentrale Sammelstelle nach Frankfurt | kostenlos | nur Eigenmarken |
| Deutsche Telekom AG | T-Punkte, Vertriebseinheiten | kostenlos | nur Eigenmarken |
| Karstadt AG | Verkaufsabteilung und/oder Service-Center | z.T. kostenlos bzw. bei Neukauf kostenlos, ggf. Kostenbeitrag | auch Fremdmarken |
| Siemens ATD TD DGR, Essen , Frohnhauser Str. 64 | Anlieferung in Essen oder kostenpflichtige Abholung | teilweise kostenlos, abhängig vom Gerät auch kostenpflichtig, keine genauen Angaben | auch Fremdmarken werden angenommen |

Hinweise: Insgesamt wurden 75 Hersteller und Großanbieter angeschrieben, die Geräte aus den Bereichen Computer, Fernseher und Telefone an den Markt abgeben. Da viele der angeschriebenen Firmen Geräte aus mehreren der genannten Produktbereiche anbieten, waren insgesamt 52 Anbieter im Bereich Computer, 15 im Bereich Fernseher und 27 im Bereich Telefone angesprochen. Von den 75 Firmen antworteten insgesamt 20, davon bieten 14 Firmen die Rücknahme von Alt-Geräten (ggf. aus mehreren Produktbereichen) an.

Die Angaben unserer Liste beruhen auf Firmeninformationen und konnten nicht überprüft werden. Alle Angaben ohne Gewähr. Die Zusammenstellung beansprucht keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Anhang II der LAGA-Richtlinie „Technische Anforderungen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten sowie zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen zur Entsorgung von Elektro-Altgeräten“: Bauteile und Materialien

Entsprechend ihrem Schadstoffpotential sind die nachstehend aufgeführten Bauteile und Stoffe, die bei der Demontage von Elektro- und Elektronikgeräten anfallen, einem EAK-Schlüssel zugeordnet.

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall ⁴ | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit ⁵ | OECD-Code ⁶ | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|---|---|--|--|------------------|--|------------------------|---|---|
| 1 | Hg-Batterien s. Batterieverordnung vom 27.20.1998 (BGBl. I. S. 2335) | Uhren, Wecker, Taschenrechner, Hörgeräte, Spielzeug Foto | 1) UTD 2) SAD | 160603 | büA | gelb AA 180 | zerstörungsfreier, vollständiger Ausbau; Getrennterfassung: Hg-Destillation | Mechanische Trennverfahren werden am Markt angeboten; Aufbereitungstechnik in Deutschland vorhanden |
| 2 | Lithiumbatterien s. Batterieverordnung vom 27.20.1998 (BGBl. I. S. 2335) | Mobilfunk Foto, Video | 1) SAD 2) UTD | 160605 160604 | | gelb [AA 180] | vollständige Entladung | Batterien nicht öffnen, heftige Reaktion mit Wasser; Aufbereitungsverfahren in Entwicklung |

⁴ Sofern Verwertung nicht möglich ist der Code in [...] gesetzt, (OECD-Code findet in diesem Fall keine Anwendung)

⁵ büA = besonders überwachungsbedürftiger Abfall, üw = überwachungsbedürftiger Abfall zur Verwertung

⁶ Die Anwendung dieser „Ampelliste“ ist nur im Fall der grenzüberschreitenden Abfallverbringung **zur Verwertung** von Bedeutung und sagt lediglich etwas über das im Rahmen der Verbringung erforderliche Notifizierungsverfahren aus. Für grenzüberschreitende Verbringung von Abfällen zur Beseitigung gilt zunächst der Grundsatz der Beseitigungsautarkie

(§3 AbfVerbrG); darüber hinaus sind gesonderte Notifizierungsregelungen nach der EG-Abfallverbringungs-Verordnung zu beachten.

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall⁴ | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit⁵ | OECD-Code⁶ | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|---|---|--|--|----------------------|--|------------------------------|--|---|
| 3 | Nickel-Cadmium-Akkus s. Batterieverordnung vom 27.20.1998 (BGBl. I. S. 2335) | Mobilfunk, netzunabhängige elektr. Werkzeuge u. Haushaltsgeräte Camcorder, Walkman, Taschenlampen, Trockenrasierer, Blitzgeräte | 1) UTD 2) SAD | 160602 | büA | gelb AA 180 | Vakuumthermisches Verfahren; Haubenofen | Trennung von anderen Batterietypen erforderlich; Aufbereitungstechnik in Deutschland vorhanden |
| 4 | Blei-Akkus s. Batterieverordnung vom 27.20.1998 (BGBl. I. S. 2335) | wartungsfreie, verschlossene Gerätebatterien; stationäre Notstromversorgung | | 160601 | büA | gelb AA 170 | Abgabe an Bleihütten | |
| 5 | Trockenbatterien s. Batterieverordnung vom 27.20.1998 (BGBl. I. S. 2335) | Walkman, Wecker, Kofferradio, Uhren, Taschenlampen, Spielzeug, | 1) SAD 2) UTD | 160604 | | gelb [AA 180] | Aussortieren anderer Batterietypen | verschiedene Aufbereitungsverfahren in Entwicklung |
| 6 | Hg-Schalter | Dampfbügeleisen, Kaffeemaschinen, Warmwassergeräte | 1) UTD 2) SAD | 060404 | büA | gelb AA 100 | Hg-Destillation | Aufbereitungstechnik in Deutschland vorhanden |

| | Abfall | Vorkommen in Elektroschrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|--|---|-----------------------------------|------------------|---------------------------|--|--|--|
| 7 | Hg-haltige Bauteile | Hg-Dampflampen | 1) UTD 2) SAD | 060404 | büA | gelb AA 100 | Kapp- Trennverfahren, Schredderverfahren, Hg-Destillation | Aufbereitungsanlagen in Deutschland vorhanden; Sorgsamer Transport |
| 8 | Elektrolyt aus Batterien und Akkus | z.B. Schwefelsäure | 1) CPB | 160606 060101 | büA | gelb AB 110 (basisch) AD 110 (sauer) | Aufarbeitung zur stofflichen Verwertung; Neutralisation | |
| 9 | Ammoniak | Absorberkühlgeräte | 1) SAV 2) CPB | 060203 | büA | gelb AB 110 | verlustfreier Abzug der NH ₃ -Lösung (ggf. chromathaltig); NH ₃ -Rückgewinnung | ggf zur NO _x -Reduzierung bei der Abgasreinigung einsetzbar |
| 10 | PCB-haltige Kondensatoren s.PCBAfallV vom 26.06.2000 (BGBl. I S. 932) | Leuchtstofflampen, Dunstabzugshauben, Waschmaschinen Geschirrspülautomaten etc. | 1) UTD 2) SAV | 160201 | büA | rot ⁷ [RA 010] | keine Aufarbeitung | vollständiger Ausbau erforderlich |

⁷ gültig ab einer Konzentration von > 50 mg/kg nach LAGA bzw. > 10 mg/kg nach DIN

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|--|---|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|--|---|---|
| 11 | Leuchtdioden (LED/arsenhaltig) | Bauteil auf Leiterplatten und in elektronischen Geräten | 1) SAD 2) UTD | 060403 | büA | gelb [AA 090] | zerstörungsfreier Ausbau; keine gesonderten Verwertungsverfahren bekannt | |
| 12 | Leuchtstoffe aus Bildschirmen (Monitor, Fernseher) | Bildschirmröhren | 1) SAD 2) UTD | 060405 170199D 1 | büA | | zerstörungsfreier Ausbau; kein Aufbereitungsverfahren bekannt | Schlüssel umfasst sowohl die bei der Behandlung anfallenden trockenen als auch die nassen, schlammigen Rückstände |
| 13 | Asbest | Bügeleisen, Toaster, Haartrockner, Nachtspeicheröfen | | 160204 (Geräte mit Asbest) | | rot RB 010 | | |
| 14 | Künstliche Mineralfasern | Isoliermaterial | | 170602 170699 D1 | büA | grün GE 020 GF 030 rot ⁸ RB 020 | | |

⁸ für Keramikfasern mit ähnlichen chemisch-physikalischen Eigenschaften wie Asbest

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|---------------------------------------|--|-----------------------------------|---------------|---------------------------|------------------|---|---------------------------------|
| 15 | Glas mit schädlichen Verunreinigungen | Bildschirmglas (Monitor, Fernseher) | | 170299D 1 | büA | gelb [AB 040] | Getrennte Erfassung und Entsorgung vom Hausmüll 1. Vorbehandlung: <ul style="list-style-type: none"> • Trennung von Bildschirm- und Konusglas, • direktes Schreddern (ohne Trennung der Glassorten), 2. anschließend trockene oder nasse Entfernung der Leuchtstoffe (Qualität der verschiedenen Aufbereitungsverfahren ist sehr unterschiedlich) | siehe Anhang zu Bildschirmglas. |

| | Abfall | Vorkommen in Elektroschrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|--|---|-----------------------------------|------------------|---------------------------|----------------|---|--|
| 16 | Glasabfälle, Altglas | Haushaltsgroßgeräte | | 170202 | | grün GE 010 | Musterverwaltungsvorschrift des LAI zur Vermeidung und Verwertung von Reststoffen nach §5 (1) Nr. 3 BImSchG bei Anlagen nach Nr. 2.8. des Anhangs zur 4.BImSchV | <u>Hinweis:</u> Borathaltige Gläser (z.B.Cerankochplatten) sind aufgrund des deutlich höheren Schmelzpunktes strikt von der Flach- und Hohlglasverwertung zu trennen (große verfahrens-technische Probleme) Gereinigte Schirmgläser ohne Hals |
| 17 | Eisenschrott | | | 170405 | | grün GA 090 | Verwertung in entspr. Metallhütte | |
| 18 | Aluminiumabfälle | | | 170402 | | grün GA 140 | Verwertung in entspr. Metallhütten | |
| 19 | sonstige NE-metallhaltige Abfälle ohne Al und Mg | | | 170401 170407 | | grün GA 120 | Verwertung in entspr. Metallhütten | |

| | Abfall | Vorkommen in Elektroschrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|---|---|-----------------------------------|------------------|---------------------------|----------------|---|---|
| 20 | Kältemittel aus Kühlgeräten (R12) | Kältegeräte | 1) SAV | 140401 140501 | büA büA | gelb AC 150 | vollständige Entnahme der FCKW aus dem Kühlkreislauf | Verweis auf UBA-Empfehlung |
| 21 | Isolationsschäume (PU), FCKW-haltig (R11) | Kältegeräte | 1) SAV | 170699 D1 | büA | | <ul style="list-style-type: none"> • Entnahme des Kältemittels • Poren-, Matrixentgasung • Ordnungsgemäße und schadlose Beseitigung des FCKW | <p>Das Entweichen von FCKW in die Atmosphäre ist auszuschließen (gilt insbesondere während des Transportes und der Demontage)</p> <p>Nachvollziehbare Verbleibskontrolle für das FCKW (Mengenachweis)</p> <p>Verweis auf UBA-Leitfaden</p> <p>-für entgaste PUR-Schäume mit einer restlichen Konzentration < 0,5 Gew.-% gilt EAK-Schlüssel 17 06 02</p> |

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|---|---|-----------------------------------|--|---------------------------|----------------------------------|--|--|
| 22 | PCB-freies Öl | Getriebe-, Maschinenöl, Transformatorenöl s. Altölverordnung vom 27.03.1998 (BGBl. I S. 658) | 1) SAV | 130201 130203 130305 130302 | büA büA | gelb AC 030 gelb AC 050 | Altölaufbereitung, energetische Verwertung | |
| 23 | PCB-belastetes Öl s.PCBAbfallV vom 26.06.2000 (BGBl. I S. 932) | Radiatoren, Transformatoren Hydrauliköle | 1) SAV | 130201 130301 130101 | büA büA bü1 | rot ⁹ [RA 010] | thermische Behandlung | Regelungen der ChemVerbotsV sind zu beachten |

⁹ gültig ab einer Konzentration von > 50 mg/kg nach LAGA bzw. >10 mg nach DIN

| | Abfall | Vorkommen in Elektroschrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|------------------------|---|-----------------------------------|--|---------------------------|---|--|---|
| 24 | Mischkunststoffe | | | 160207 170299 D1 170203 | büA | grün GH 010 grün GH 010 (gelb ¹⁰) | sofern nicht werkstofflich verwertbar (z.B. wegen Gehalt an Flammschutzmitteln) einer rohstofflichen oder energetischen Nutzung zuführen | Kunststoffe mit Flammschutzmittel sind als büA anzusehen |
| 25 | Kunststoffe sortenrein | | | 170203 170299D 1 (>50 mg PCB/kg) 170408 (<50 mg PCB/kg) | | grün GH 010 grün GH011 grün GH012 grün GH013 grün GH014 grün GH015 | Aufbereitung mit dem Ziel der stofflichen Verwertung | Bei cadmiumhaltigen Kunststoffen ist die ChemverbotsV, Anhang, Abschnitt 18 zu beachten D1-Schlüssel für Kunststoffe mit schädlichen Verunreinigungen, z.B. behandelte Kunststoffgehäuse |

¹⁰ Zur Zeit heftige Diskussionen darum, ob grün oder gelb. Die Kommission ist der Auffassung, dass alle Mischungen gelb zu listen sind. Im Rahmen des OECD-Review-Mechanismus wird diese Frage demnächst diskutiert.

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|---|--|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------|--|---|
| 26 | Kabelabfälle | | | 170408 170299D 1 | | grün GC 020 | trockenmechanische Aufbereitung, Trennung in Metall und Kunststoff, anschließend stoffliche bzw. energetische Verwertung | Die stoffliche Verwertung PCB-haltiger Kabelummantelungen ist nicht zulässig. D1-Schlüssel für Kabelabfälle, die mit flammschutzhemmenden Mitteln behandelt sind. |
| 27 | Schredderleichtfraktion und Filterstäube aus Schreddern | | 1) SAV 2) SAD HMD Monodeponie | 160208 | üw | gelb [AC 190] | | z.Z. verschiedene Verfahren zur Konditionierung für die rohstoffliche oder energetische Verwertung in Entwicklung |
| 28 | Gewerbeabfälle, nicht verwertbarer Abfall | Gemische aus der Demontage | | 200301 | üw | gelb [AD 160] | thermische Behandlung, Deponie | |

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|---|---|--|----------------------------|----------------------------------|--|---|---|
| 29 | Feste fett- und ölverschmutzte Betriebsmittel | Wischtücher, Filtermaterialien, Ölbinder etc. | | 150299 D1 | büA | ¹¹ | | Wischtücher können über Mietservice, der die Tücher liefert, abholt und reinigt, gemietet werden |
| 30 | Selentrommeln | Kopierer, Faxgeräte | | 160205 080309 170407 | | gelb AD 090 | | Aufbereitungsmöglichkeiten über Gerätehersteller erfragen. |
| 31 | Leiterplatten | elektronische Geräte | | 160202 | | grün GC 010 grün GC 020 rot, wenn PCB Kondensatoren enthalten sind RA 010 | 1. Teilentstückung 2. Mechanische Aufbereitung; Hüttenprozess | Es existieren Anlagen zur Vollentstückung. Anlagen zur Sortierung der demontierten Bauteile sind in Entwicklung |

¹¹ Zuordnung der Abfälle gemäß Artikel 10 der EG-AbfallverbringungsVO

| | Abfall | Vorkommen in Elektro-Schrott (Beispiele) | Entsorgungshinweis nach TA Abfall | EAK Schlüssel | Überwachungsbedürftigkeit | OECD-Code | Mindestbehandlung, Verwertungsweg | Bemerkung |
|----|-------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|--|
| 32 | Holzabfälle | Gehäuse von Radio, Fernseher, Plattenspieler etc. | 1) HMV | 150103 200107 170299 D1 | büA | gelb AC 170 | stoffliche, energetische Verwertung; thermische Behandlung | Empfehlungen der LAGA-AG Altholz berücksichtigen; Aufbereitungsverfahren für Pressspanhölzer in Deutschland vorhanden, z.B. Wiederverwendung von TV-Pressspanwänden als Pressspanplatten |
| 33 | Leuchtstofflampen | | 1) SAD | 060404 200121 | büA | gelb AA 100 | Kapp-Trennverfahren, Schredderverfahren | |
| 34 | Toner | Kopiergeräte, Fax, Laserdrucker | | 080309 | | gelb AD 070 gelb AD 090 | Beim Ausbau der Kartuschen Staubeentwicklung vermeiden; Resttoner energetisch verwerten, thermisch behandeln | Am Markt werden Wiederbefüllungs- und Recyclingmöglichkeiten für Kartuschen aller Art angeboten. |

Elektro-Altgeräte, die entweder durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger oder in deren Auftrag vom Hausmüll getrennt eingesammelt werden, sind gemäß EAK-Verordnung dem Abfallschlüssel 20 (Siedlungsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen, einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen) zuzuordnen. Kältegeräte, die außerhalb der öffentlichen Abfallentsorgung zurückgenommen werden, sind dem Abfallschlüssel 16 (Abfälle, die nicht anderswo im Katalog aufgeführt sind) zuzuordnen.