
Materialien

Nr. 3

Verwertung von
Elektro- und
Elektronikgeräten



Landesumweltamt
Nordrhein-Westfalen

Materialien

Nr. 3

Verwertung von
Elektro- und
Elektronikgeräten

6. Aachener Kolloquium Abfallwirtschaft

1. Dezember 1993

Essen 1994

IMPRESSUM

Herausgegeben vom
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen • Telefon (02 01) 79 95 - 0

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

In der Bundesrepublik Deutschland fallen jährlich etwa 1,5 Mio. Tonnen an ausgedienten Elektro- und Elektronikgeräten an. Nur ein geringer Teil davon wird bisher verwertet, der überwiegende Rest wird deponiert oder gelangt in Müllverbrennungsanlagen. Diese Entsorgungswege sind mit der Emission anorganischer und organischer Schadstoffe verbunden und aus ökologischer Sicht insgesamt in Frage zu stellen. Die Bundesregierung plant daher die Verabschiedung einer Verordnung über die Vermeidung und Verwertung von Elektronikschrott.

Aus diesem Anlaß nahm sich das 6. Aachener Kolloquium Abfallwirtschaft dieser Thematik an und berichtete über den neuesten Stand der Diskussion zur Elektronikschrottverordnung. Darüber hinaus wurden Systeme zur Erfassung und Sammlung ausgedienter Elektro- und Elektronikgeräte vorgestellt und ein Überblick über den Stand der Technik beim Elektronikschrott-Recycling geboten.

Mein Dank gilt den Referenten und Organisatoren sowie den Teilnehmern der Veranstaltung. Ich hoffe, daß diese die Diskussion über die Elektronikschrott-Verordnung fortgeführt hat.

Essen, im Mai 1994



Dr.-Ing. Harald Imer
Präsident des
Landesumweltamtes
Nordrhein-Westfalen

Leitung:

Prof. Dr.- Ing. M. Dohmann
Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen

LRBD Dipl.-Ing. W. Schmidt
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen

Referenten:

Dipl.-Ing. Heike Holst
Landesamt für Wasser und Abfall NRW, Düsseldorf

RR U. Bruchmann
Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Außenstelle Berlin

Dipl.-Ing. K. Hüller
Amt für Abfallwirtschaft und Stadtreinigung, Düsseldorf

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. N. Evermann
Edelhoff Polytechnik GmbH, Iserlohn

Dipl.-Ing. P. Burgdorf
Siemens-Nixdorf Informationssysteme AG, Paderborn

Dipl.-Ing. R. Maas
BRAUN AG, Kronberg

Dipl.-Ing. Schiemann
Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik e.V., Duisburg

Dr.-Ing. W. Kretzer, Dipl.-Ing. H. Bühler
UTG Gesellschaft für Umwelttechnik, Viersen

Dr.rer.nat. S. Maier
Züblin AG, Stuttgart

Dipl.-Ing. T. Kramer
Lehrstuhl für Aufbereitung, Veredelung und Entsorgung, RWTH Aachen

Dipl.-Ing. M. Baumann, Dipl.-Ing. M. Leber
Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen

Inhalt

Vorwort.....	3
Referentenliste	4
Aufkommen und Zusammensetzung von Elektro- und Elektronikschrott aus Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen <i>Dipl.-Ing. Heike Holst</i>	7
Rechtsverordnung zur Rücknahme gebrauchter Elektro- und Elektronikgeräte <i>Dipl.-Ing. Ullrich Bruchmann</i>	17
Erfassung von Elektro- und Elektronikgeräten aus der Sicht der Kommune <i>Dipl.-Ing. Kornelia Hübler</i>	25
Erfassung von Elektro- und Elektronikgeräten aus der Sicht eines Entsorgers <i>Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. N. Evermann</i>	35
Erfahrungen und Tendenzen bei der Sammlung und Aufbereitung von Computern <i>Dipl.-Ing. P. Burgdorf</i>	53
Sammlung und Verwertung von Elektrogeräten durch einen Hersteller <i>Rolf Maas</i>	67
Zerlegung von Elektro- und Elektronikgeräten – Erfahrungen aus einem Modellversuch <i>Jochen Schiemann</i>	79
Stand der Technik und Praxis der Aufbereitung von „brauner und weißer Ware“ <i>Dr. Ing. W. Kretzer, Dipl.-Ing. H. Bühler</i>	91
Stand der Technik und Praxis des Bildröhren-Recyclings <i>Dr. Stefan Maier</i>	103
Mechanische Aufbereitung von Leiterplatten <i>Dipl.-Ing. Thomas Kramer</i>	113
Recyclinggerechte Konstruktion von Elektro- und Elektronikgeräten <i>M. Baumann und M. Leber</i>	137
Liste der bisheriger LUA-Materialien	153

Aufkommen und Zusammensetzung von Elektro- und Elektronikschrott aus Hausmüll und hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen

Dipl.-Ing. Heike Holst

Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen

1. Einleitung

Zur Zeit wird diskutiert, wie man den Abfall mengenmäßig reduzieren und durch Schadstoffentfrachtung die Restmengen besser entsorgen kann. In diesem Zusammenhang werden Möglichkeiten gesucht, Elektro- und Elektronikschrott stofflich zu verwerten. Bis heute werden diese Geräte meist nicht getrennt gesammelt. Eine Ausnahme bilden hier Kühlgeräte und Radiatoren die aufgrund ihres Schadstoffpotentials (FKW's und PCB-verunreinigte Öle) schon heute einer speziellen Behandlung unterzogen werden. In einigen Fällen werden andere Haushalts Großgeräte wegen ihres hohen Metallanteils an den Schrotthandel abgegeben. Nach den Vorstellungen der Bundesregierung sollen in Zukunft jedoch gebrauchte elektrische und elektronische Geräte und Geräteteile grundsätzlich einer erneuten Verwendung oder einer Verwertung zugeführt werden. Voraussetzung für den Aufbau sinnvoller Verwertungswege ist die Kenntnis über die zu erwartenden Mengen und deren Zusammensetzung.

2. Definitionen

Die heute häufig verwendeten Begriffe Elektro- und Elektronikschrott sind nicht eindeutig definiert. Laut Lexikon ist Schrott "Altmaterial oder bei der Metallverarbeitung anfallender Metallabfall; wichtiger Rohstoff bei der Metallherstellung (z. B. bei der Stahlerzeugung)" /1/. Der Begriff Elektronikschrott wird teilweise ausschließlich für elektronischen Bauteile, teilweise für das ganze damit im Zusammenhang stehende Gerät benutzt. In Anlehnung an den Entwurf der Elektronikschrottverordnung wird hier die umfassendere Definition gewählt, nach der es sich beim Elektronikschrott um Altgeräte oder Geräteteile handelt, die elektrische und elektronische Bauteile beinhalten. Diese Geräte bestehen weder aus den elektronischen Bauteilen allein noch beinhalten sie ausschließlich Metallanteile. Sie bestehen vielmehr auch aus einer Vielzahl anderer Materialien, wie zum Beispiel Holz, Kunststoff und Glas. Im folgenden wird ausschließlich das Aufkommen und die Zusammensetzung von Altgeräten aus dem Konsumgüterbereich betrachtet, für die die Kommunen entsorgungspflichtig sind. Diese werden über die Mülltonne oder aufgrund ihrer Größe über die Sperrmüllabfuhr entsorgt.

3. Aufkommen

Im Jahr 1990 wurden im Gebiet der alten Bundesrepublik ca. 23 Mio. t Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und Sperrmüll entsorgt /2/. Statistische Angaben über den Anteil von Elektronikschrott am Haus- und Sperrmüllaufkommen liegen nicht vor.

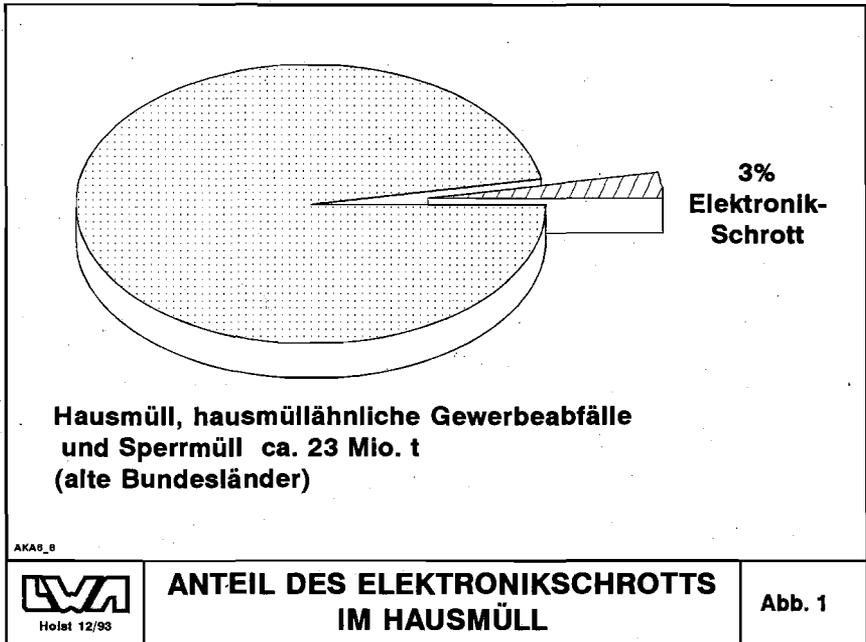
Für die Abschätzung des jährlich zu erwartenden Elektronikschrottaufkommens stehen Statistiken über die Produktion, den Import und Export von Geräten, die über Verkaufszahlen abgeschätzt werden können, sowie über den Ausstattungsgrad und die Anzahl der Haushalte zur Verfügung. Aufgrund dieser Ausgangsdaten können die anfallenden Entsorgungsmengen auf unterschiedliche Weise abgeschätzt werden.

Eine Möglichkeit besteht darin, anhand der Zahl der Haushaltungen und des Ausstattungsgrades mit den einzelnen Gerätegruppen den Bestand an Geräten zu ermitteln. Die Bestandszahlen werden für den Anfang und das Ende des Entsorgungszeitraumes ermittelt. Von der Anzahl der im Betrachtungszeitraum verkauften Geräte wird die Differenz der Bestände abgezogen und so die zu entsorgende Menge bestimmt. Da der Ausstattungsgrad nicht berücksichtigt, daß in einem Haushalt mehrere gleiche Geräte benutzt werden bzw. vor der Entsorgung eventuell einen gewissen Zeitraum im Keller zwischengelagert werden, müssen hierfür zusätzliche Abschätzungen vorgenommen werden, die weitere Ungenauigkeiten verursachen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin die Entsorgungsmengen über eine Verknüpfung der Verkaufszahlen mit der mittleren Lebensdauer der jeweiligen Produkte zu ermitteln. Die Problematik liegt hierbei in der zutreffenden Abschätzung der mittleren Lebensdauer der Geräte, die von der technisch möglichen Lebensdauer limitiert wird, aber auch stark vom Konsumverhalten der Haushaltungen abhängt. Das oben angesprochene Problem der Zwischenlagerung ist ebenfalls gegeben.

Eine zusätzliche Unwägbarkeit ergibt sich in beiden Fällen bei der Ermittlung der Verkaufszahlen. Diese werden aus den Statistiken für Produktion bzw. Im- und Export, die unterschiedliche Systematiken aufweisen, erstellt /3/.

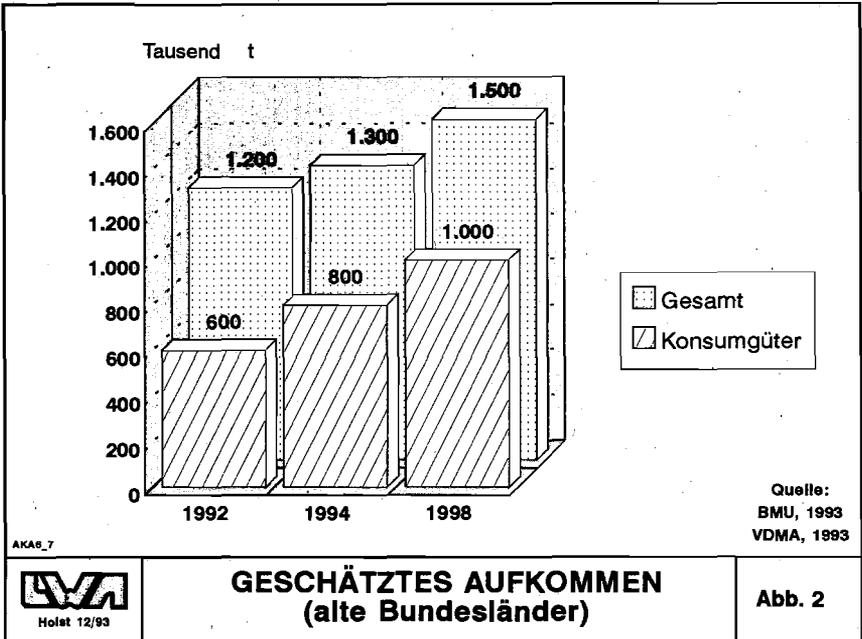
Die veröffentlichten Zahlen über das Aufkommen von Elektronikschrott variieren aufgrund der oben beschriebenen unterschiedlichen Ansätze und der Genauigkeit der Abschätzung sowie der unterschiedlichen Zuordnung der Geräte zu einzelnen Gerätegruppen. Schätzungen vor diesem Hintergrund ergeben, daß in der alten Bundesrepublik ca. 3% des Aufkommens an Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und Sperrmüll aus Elektronikschrott besteht (siehe Abb. 1).



Auf der Basis von Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit /4/ sowie einer im Auftrage der Impulsstiftung durchgeführten Studie /5/ wird in Abb. 2 die Entwicklung des Aufkommens an Elektronikschrott aufgezeigt. Zur Verdeutlichung ist den Mengen aus dem Konsumgüterbereich das Gesamtaufkommen an Elektronikschrott gegenübergestellt. Lag das Aufkommen an Elektronikschrott aus dem Konsumgüterbereich 1992 noch bei 600.000 t/a, wird bis 1998 mit einem Anstieg auf 1 Mio. t/a gerechnet.

Abweichend von den in der Abbildung dargestellten Zahlen schätzt der Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. für 1994 ein Elektronikschrötaufkommen von bis zu 1,5 Mio. t mit einem Anteil aus dem Konsumgüterbereich von 900.000 t bzw. 60 % /6/.

Die Altgeräte aus dem Konsumgüterbereich lassen sich aufgrund ihrer Zusammensetzung und ihres Entsorgungsweges in die fünf Gruppen Haushaltsgroßgeräte, Haushaltskleingeräte, Fernsehgeräte, sonstige Unterhaltungselektronik (ohne Fernseher) und sonstige Geräte einteilen.



Unter Haushaltsgroßgeräten, die im allgemeinen auch als weiße Ware bezeichnet werden, versteht man z. B. Kühlschränke, Herde und Waschmaschinen. Sie werden in der Regel wegen ihrer Größe über die Sperrmüllabfuhr entsorgt.

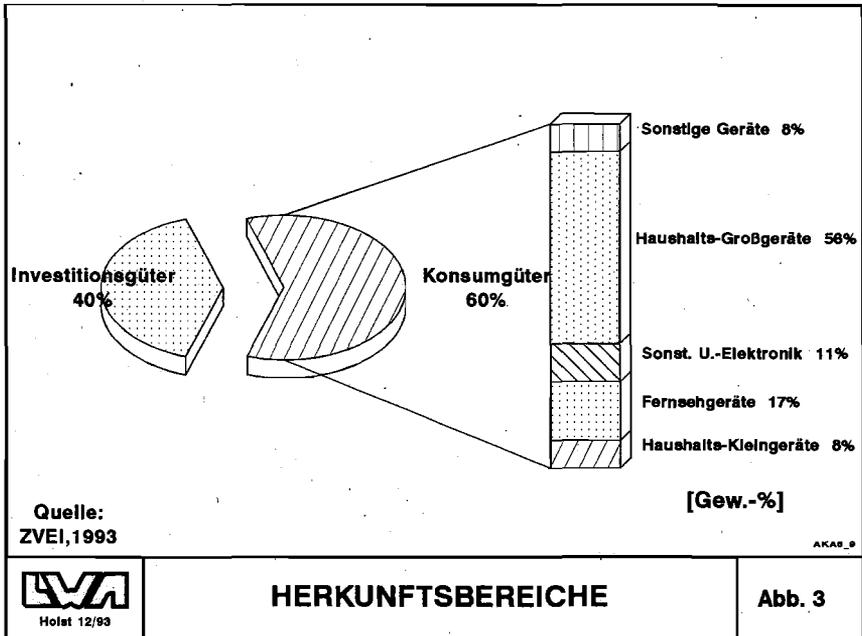
Als Haushaltskleingeräte werden die Geräte definiert, die aufgrund ihrer Größe über die Mülltonne entsorgt werden können. Beispiele für Haushaltskleingeräte sind Handmixer, elektrische Zahnbürste und elektrischer Eierkocher.

Die Unterhaltungselektronik, die auch als braune Ware bezeichnet wird, wird im folgenden aufgrund des hohen Mengenanteils und der speziellen Zusammensetzung von Fernsehern unterteilt in die Gruppen Fernsehgeräte und sonstige Unterhaltungselektronik. Der Entsorgungsweg dieser Geräte ist üblicherweise abhängig von ihrer Größe.

Unter dem Begriff "sonstige Geräte" sind Gegenstände wie z. B. Uhren, Entladungslampen und Taschenrechner zusammengefaßt. Computer spielen in dieser Gruppe heute noch keine Rolle, obwohl jeder zweite verkaufte PC im privaten Bereich verwendet wird.

In Abbildung 3 sind die Anteile der oben aufgeführten Gerätegruppen am Elektronikschrottaufkommen im Konsumgüterbereich dargestellt.

Die Hauptanteile stellen demnach die Haushaltsgroßgeräte mit ca. 56 % sowie die Fernsehgeräte mit ca. 17 %.



4. Zusammensetzung

Als Ansatz für eine Systematik der sich in den Altgeräten wiederfindenden Bauteile und Stoffe wird die nachfolgend aufgeführte Einteilung in Fraktionen gewählt:

- FE-Metalle
- NE-Metalle
- Kunststoffe (ohne Elastomere)
- Elastomere
- Glas
- Elektronische Bauteile
- Sonstiges

FE-Metalle werden hauptsächlich als Gehäusekonstruktionen oder als Bleche in Transformatoren und Elektromotoren eingesetzt.

Die NE-Metallfraktion besteht hauptsächlich aus Kupfer, das unter anderem als Leitermaterial in Kabeln, Drähten und Spulen verwendet wird, und Aluminium, das im Gehäusebereich sowie auch für Frontplatten und Bedienungselemente eingesetzt wird. Desweiteren kommen in geringen Mengen Schwermetalle vor, die jedoch aufgrund ihrer Toxizität, wie z. B. Cadmium in Bildschirmbeschichtungen, von Bedeutung sein können.

Auch aus Kunststoffen werden hauptsächlich Gehäuse und sonstige Konstruktionselemente hergestellt. Die Verwertung dieser Fraktion ist sowohl aufgrund der Vielzahl der verwendeten Sorten als auch wegen ihrer Inhaltsstoffe, wie z. B. polybromierte Diphenylether als Flammschutzmittel oder diverser Füllstoffe, sehr problematisch.

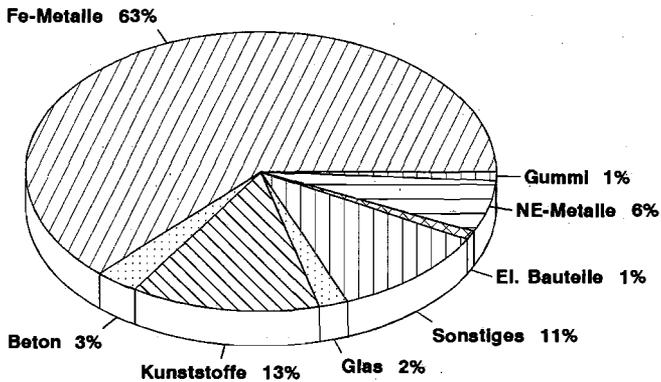
Elastomere werden hauptsächlich als Dichtungs- und Dämpfungsmaterialien benutzt.

Glas wird z. B. für Sichtfenster in Herden und Waschmaschinen eingesetzt. Der Hauptanteil liegt jedoch bei Bildröhren, wobei das Glas hohe Mengen Barium bzw. Strontium und Blei enthält. Zusätzlich sind diese Gläser beschichtet.

Elektronische Bauteile sind Leiterplatten inklusive ihrer Bestückung wie Dioden, Transistoren, Integrierte Schaltkreise, LED sowie Transformatoren. Sie beinhalten Elemente aus dem halben Periodensystem. In dieser Systematik werden elektronische Bauteile als eigene Fraktion aufgeführt, weil eine weitergehende Zerlegung in ihre einzelnen Stofffraktionen kaum möglich ist.

Unter dem Begriff "sonstige Bauteile" werden Stoffe und Bauteile zusammengefaßt, die keiner anderen Fraktion zugeordnet werden können, wie zum Beispiel Holz, Batterien, Akkus, Dämmstoffe, Beton und Hilfsstoffe (Kühlmittel, Schmierstoffe).

In den Abbildungen 4 bis 7 wird für die einzelnen Gerätegruppen die Zusammensetzung entsprechend der obigen Systematik dargestellt. Die Datengrundlagen für diese Grafiken bilden Untersuchungen des ZVEI, die Studie von Töpfer sowie Angaben von Entsorgern, die bereits Geräte zerlegen. Auch hier schwanken die Angaben über die Zusammensetzung der Geräte erheblich. Ursache hierfür ist zum einen eine geringfügig andere Eingruppierung der einzelnen Gerätetypen bei den unterschiedlichen Untersuchungen sowie eine veränderte Bestückung der Geräte. So hat in den letzten Jahren der Anteil elektronischer Bauteile stark zugenommen und es wurden vielfach Metall- und Holzgehäuse durch Kunststoffgehäuse ersetzt.

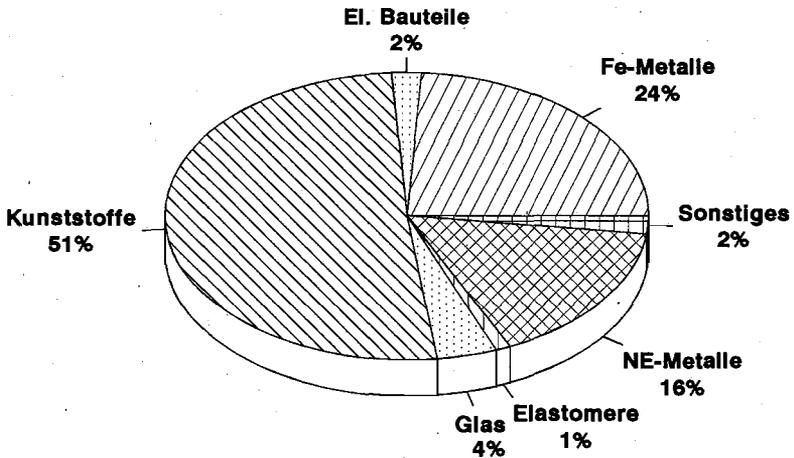


AKA8_6



**ZUSAMMENSETZUNG
HAUSHALTS-GROSSGERÄTE**

Abb. 4

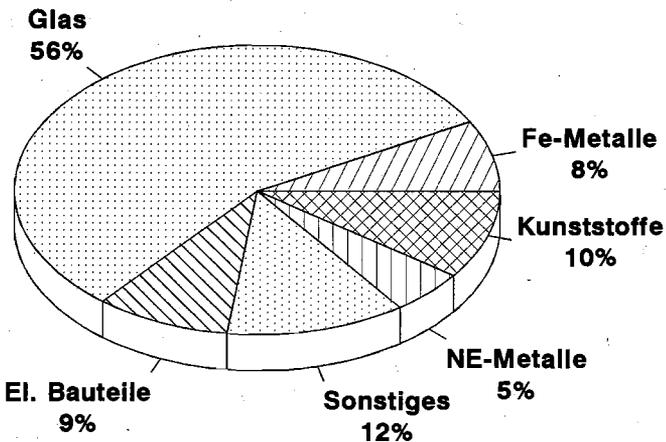


AKA8_3



**ZUSAMMENSETZUNG
HAUSHALTS-KLEINGERÄTE**

Abb. 5

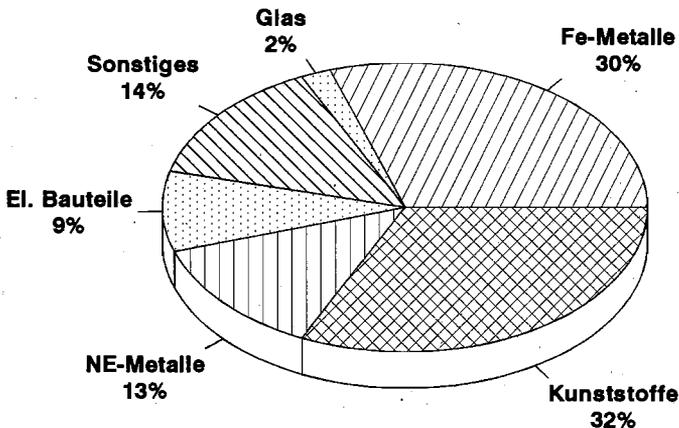


AKA8_5



**ZUSAMMENSETZUNG
FERNSEHGERÄTE**

Abb. 6



AKA8_4



**ZUSAMMENSETZUNG
SONSTIGE UNTERHALTUNGSELEKTRONIK
(OHNE FERNSEHGERÄTE)**

Abb. 7

Anhand der Grafiken ist zu erkennen, daß es große Unterschiede in der Zusammensetzung des Elektronikschrotts gibt. Es zeigt sich, daß bei den Haushaltsgroßgeräten die FE-Metalle mit 63 % den weitaus größten Anteil ausmachen, während problematische Fraktionen wie die elektronischen Bauteile mit 1 % einen sehr geringen Anteil haben. Einen Sonderfall bei den Großgeräten stellen die Kühlgeräte dar, wegen der sowohl im Kühlkreislauf als auch im Isolierschaum eingesetzten FCKWs. Aus diesem Grunde werden sie schon heute getrennt entsorgt.

Anders als bei den Haushaltsgroßgeräten überwiegen bei den Fernsehgeräten problematische Stoffen. Über die Hälfte des Gewichtes besteht aus Bildröhrenglas, das im Frontbereich stark strontium- bzw. bariumphaltig, im Konusbereich stark bleihaltig ist. Ein erneuter Einsatz bei der Herstellung von Bildröhren wird von den Herstellern abgelehnt. Des weiteren ist die Bildröhre mit umweltbelastenden Stoffen beschichtet. Der Anteil von elektronischen Bauteilen liegt mit 9 % relativ hoch. Der Kunststoffanteil beträgt 10 %, wobei allerdings über die Hälfte der Kunststoffe Flammenschutzmittel enthalten.

5. Zusammenfassung

Da, wie die Ausführungen zeigen, der Anteil des Elektronikschrotts am Gesamtaufkommen von Hausmüll, hausmüllähnlichem Gewerbeabfall und Spermüll nur ca. 3 % beträgt, wird eine Verwertung die zu beseitigenden Hausmüllmengen nur wenig verringern. Dennoch sollte es selbstverständlich sein, z. B. die FE-Metallfraktion aus den Haushaltsgroßgeräten zu verwerten, die alleine etwa 35 % des Elektronikschrottaufkommens aus dem Konsumgüterbereich ausmacht.

Unter dem Aspekt der Schadstoffentfrachtung des Hausmülls sind insbesondere jene Fraktionen zu betrachten, die die Qualität der Reststoffe aus den Abfallbehandlungsanlagen oder das Verhalten des abzulagernden Abfalls negativ beeinflussen. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll diese Fraktionen, obwohl sie nur einen verhältnismäßig geringen Mengenanteil darstellen, aus dem Hausmüllstrom auszuschleusen und nach Möglichkeit nach einer Aufbereitung zu verwerten. Als Schadstoffe sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Schwermetalle und kritische organische Verbindungen, wie zum Beispiel, die als Flammenschutzmittel in Kunststoffen eingesetzten polybromierten Diphenylether zu nennen.

6. Literatur

- /1/ Anonym:
Meyers großes Taschenlexikon, BI-Taschenbuchverlag Mannheim, 1987
- /2/ Anonym:
Statistisches Jahrbuch, 1992
- /3/ IMS-Ingenieurgesellschaft:
Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten aus Haushalten, Band 1 Grundlagen,
im Auftrag des Landesbetriebes Hamburger Stadtreinigung, 1991
- /4/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage zum Thema
"Elektronikschrottverordnung", Bundestagsdrucksache 12/4562, 1993
- /5/ Töpfer, P.:
Elektronikschrott Entsorgung/Recycling, Studie zur bestmöglichen Umsetzung der
geplanten Elektronikschrott-Verordnung unter Wertstoff- und Schadstoffaspekten,
Impulsstiftung Frankfurt, 1993
- /6/ ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.:
Lösungskonzept der deutschen Elektroindustrie für die Verwertung und Entsorgung
elektrotechnischer und elektronischer Geräte, Frankfurt, 1993

**Rechtsverordnung zur Rücknahme
gebrauchter
Elektro- und Elektronikgeräte**

**Dipl.-Ing. Ullrich Bruchmann
c/o
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie demonstriert auch in der jüngsten Vergangenheit auf Fachmessen und Ausstellungen nachhaltig ihr großes Innovationspotential.

Immer leistungsfähigere Bauteile, Baugruppen und Komplettgeräte fordern geradezu die Nutzung dieser technischen und technologischen Entwicklungen im industriellen, gewerblichen aber auch privaten Bereich heraus.

Dabei löst die neue Technik häufig eine Gerätegeneration ab, die vor wenigen Jahren selbst noch Messeexponate darstellten.

Vor diesem Hintergrund steht der Umweltschutz vor einer großen Herausforderung.

Die Bundesregierung geht davon aus, daß die bisher praktizierte Entsorgung von Elektronikschrott als Hausmüll nicht mit den Zielen einer umweltverträglichen und ressourcensparenden Entsorgung vereinbar ist.

Ressourcenschonende Wirtschaft und der sorgsame Umgang mit der Umwelt sind unabdingbar, wenn wir der Verantwortung für unsere nachfolgende Generation nachkommen wollen.

Oberstes Ziel kann es daher nur sein, Abfall zu vermeiden, nicht vermeidbaren Abfall zu verwerten und daß, was danach übrigbleibt, umweltverträglich zu entsorgen.

Eine nachhaltige Entwicklung wird ohne die konsequente Durchsetzung einer Kreislaufwirtschaft, in der Produkte von der Herstellung bis zur Entsorgung und damit während ihres gesamten Lebenszyklus auf Umweltverträglichkeit hin bewertet werden, kaum erreicht werden können.

Wir setzen in der Bundesrepublik Deutschland deshalb vorrangig abfallpolitische Instrumente ein, um weg von der Wegwerfgesellschaft und hin zu umweltverträglichen Produkten und Produktionsweisen zu kommen.

Bei der Entwicklung elektronischer Baugruppen und Geräte sind insbesondere die Gerätehersteller gefordert, Produkte zu entwickeln, die den grundlegenden Zielen der Entwürfe des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und der Elektroschrottverordnung im Hinblick auf die Vermeidung von Abfällen, von problematischen Stoffen sowie der Kreislaufführung von Rohstoffen entsprechen. Dies bedeutet:

- Einsatz von Materialien, die eine Kreislaufführung bzw. ein möglichst vollständiges Recycling ermöglichen; ggf. Reduktion der Anzahl der eingesetzten Werkstoffe;
- Substitution bzw. Vermeidung von Stoffen, die sich bei der Kreislaufführung und Entsorgung umwelt- und gesundheitsbelastend verhalten;
- Verringerung des Energie- und Materialverbrauches;

- entsorgungsfreundlicher Geräteaufbau, Anwendung demontagegerechter Verbindungstechniken.

In der Vergangenheit standen die Herstellung und die Vermarktung von Produkten im Vordergrund. Jetzt müssen die Produktion von Gütern, ihre Verteilung, ihre Nutzung, ihr Verbrauch und ihre Entsorgung als geschlossenes System unter den Gesichtspunkten der Umweltverträglichkeit und der Einsparung knapper Ressourcen gesehen werden. Der Entwurf der Elektronikschrottverordnung lenkt die Intelligenz und die Innovationskraft der Wirtschaft auf dieses Entwicklungsziel.

Gegenwärtig sind noch Geräte zu entsorgen, die teilweise bis zu 20 Jahre alt sein können. Häufig sind deren Hersteller und Vertreiber nicht mehr im Markt, die Eigenschaften der in den Geräten enthaltenen Stoffe sind oft unbekannt oder für Verwertungszwecke ungeeignet. Deshalb ist hier meist nur eine umweltverträgliche Entsorgung angezeigt.

Großgeräte (Herde, Waschmaschinen, Kühlschränke, große Fernsehgeräte) werden jedoch heute bereits von einigen Handelsunternehmen im Zuge eines Neukaufs gegen einen Aufpreis zurückgenommen und einer Verwertung oder Entsorgung zugeführt. Für "mülltonnengängige" Kleingeräte ist ein derartiger Weg unrealistisch.

Die Kosten für die umweltverträgliche Entsorgung der Altgeräte - also der Geräte, die vor Inkrafttreten einer Elektronik-Schrott-Verordnung verkauft sein werden - müssen vom Bürger über die Müllgebühren oder einen Kostenbeitrag bei der Rückgabe aufgebracht werden.

Wie bei Neugeräten - also bei Geräten, die nach Inkrafttreten einer Verordnung verkauft werden - verfahren wird, ist noch Gegenstand der Abstimmungsgespräche mit den Ressorts, den Ländern, kommunalen Spitzenverbänden und der Wirtschaft.

Nach aktuellen Vorstellungen sollten diese Kosten möglichst in den jeweiligen Produktpreis integriert werden, um Wettbewerb bei der Schaffung verwertungsfreundlicher Geräte zu erzeugen. Als Kompromißlinie könnte sich letztlich eine Teilung nach Groß- und Kleingeräten abzeichnen.

Bei Geräten, die in eine Mülltonne passen, wird an einer Bezahlung beim Kauf nicht vorbeizukommen sein. Der "normale" Verbraucher wird seine Kaffeemaschine, seinen Föhn oder andere Kleingeräte nicht zu Sammelstellen bringen und bei der Abgabe für die Verwertung und Entsorgung bezahlen.

Angestrebt wird, die kommunalen Spitzenverbände für ein Entsorgungskonzept zu gewinnen, das vor allem für eine sinnvolle und kostengünstige Erfassung der kleinen Geräte eingesetzt werden kann. Denkbar wäre eine etwa alle sechs Monate stattfindende Abholung von Kleinelektronik in dafür von Handel und Industrie über den Fachhandel verteil-

te feste Säcke. Während die Einsammlung unter dem Gebäudendach ablaufen könnte, müßten Industrie und Handel die so erfaßten Geräte übernehmen und einer Verwertung oder Entsorgung außerhalb der öffentlichen Abfallentsorgung zuführen.

Beim Neukauf von großen Hausgeräten ist es hingegen schon heute üblich, dem Fachhändler einen Entsorgungsbetrag bei der Abholung des alten Gerätes zu zahlen. Dieses Verfahren ist sicher auch zukünftig akzeptabel, wenn eine bundesweite Rücknahme und Verwertung garantiert wird.

Bei der Lösung dieser komplexen Aufgaben müssen Industrie, Handel, die entsorgungspflichtigen Körperschaften und die Entsorgungswirtschaft eng zusammenwirken und in der Zwischenzeit produktbezogenen Verwertungs- und Entsorgungswege herausbilden oder weiter stabilisieren.

Seit Vorlage des Referentenentwurfes haben viele Gespräche mit den betroffenen Verbänden von Industrie und Handel, mit den Ländern und den kommunalen Spitzenverbänden stattgefunden. Die Argumente sind heute weitgehend ausgetauscht.

Wegen der Komplexität des Vorhabens müssen jedoch alle Gesichtspunkte sehr sorgfältig geprüft werden.

Basis für die Verordnung bleibt - auch nach Verabschiedung des Entwurfes der 5. Novelle zum Abfallgesetz - der § 14 des geltenden Abfallgesetzes, den man als "Keimzelle" der Forderung nach einer Kreislaufwirtschaft bezeich-

nen kann. Die Bundesregierung hält diese Bestimmung für tragfähig, was die anstehenden Regelungen anbelangt.

Die Wirtschaftssituation in der Bundesrepublik Deutschland wird nachhaltig vom Exportvermögen ihrer Industrie beeinflusst.

Die Überzeugungskraft deutscher Elektrotechnik auf dem Weltmarkt wird, im ökologischen Sinne, entscheidend durch Wartungsfreundlichkeit und Recyclingfähigkeit der Baugruppen und Geräte gewinnen.

Erfassung von Elektro- und Elektronikgeräten aus der Sicht der Kommune

Dipl.-Ing. Kornelia Hülter

1. Vorwort

Düsseldorf hat erstmalig 1985 ein Abfallwirtschaftskonzept (AWiKo) vorgelegt. Im Oktober 1991 hat der Rat die Fortschreibung dieses Konzeptes verabschiedet. Dieses ist nun für die nächsten Jahre bindender Leitfaden der Verwaltung.

Das AWiKo ist auf der Grundlage folgender Überlegungen entstanden:

- ☞ Abfallvermeidung und Abfallverwertung müssen Vorrang vor der Abfallentsorgung haben;
- ☞ die Kooperation mit umliegenden Kommunen und privaten Entsorgern ist zur Bereitstellung der Entsorgungssicherheit unabdingbar.

Eine Maßnahme des verabschiedeten Kataloges sieht die Zusammenarbeit mit bekannten Computerherstellern sowie dem Zentralverband Elektrotechnik und Elektroindustrie, Industrie- und Handelskammer, Handwerkskammer und Einzelhandelsverband vor, um zu ermitteln, welche Elektronikgeräte getrennt gesammelt und beseitigt werden sollten. Wie weit diese Überlegungen gediehen sind, möchte ich Ihnen im Folgenden vorstellen:

2. Planungsgrundlagen

Die Elektronikschrott-Verordnung in ihrem Entwurf vom 15. Oktober 1992 nimmt sowohl die Hersteller als auch die Vertrieber gebrauchter elektrischer und elektronischer Geräte in die Pflicht. Hierbei gilt der Versandhandel als Vertrieber. Auch auf die Importware wird durch den Zugriff auf den Verteiler im Geltungsbereich der Verordnung zurückgegriffen.

Sowohl der Hersteller als auch der Vertrieber wird zur Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Elektronikschrott aufgefordert.

Die Begriffsbestimmung "Elektronikschrott" ist in der Verordnung sehr weit gefaßt. Sie geht von Baugruppen (auch wenn keine elektrischen und elektronischen Bauteile enthalten sind), über Uhren, Entladungslampen, Elektrorasierer aus Privathaushalten, bis hin zu Geräten der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik aus Industrie und Gewerbe.

Die Literaturangaben zu erwartenden Mengen, die dem Regelungsbereich der Verordnung unterliegen, schwanken zwischen 150.000 t und 1,4 Mio. t^{*1,3,4,5}. Diese Bandbreite ist aufgrund des umfassenden Anwendungsbereiches erklärlich. Eine befriedigende Datensicherheit für jegliche Abfallwirtschaftsplanung ist jedoch nicht gegeben.

Das Personal der Sperrmüllabfuhr des Amtes für Abfallwirtschaft und Stadtreinigung hat eine Zählung von Waschmaschinen, Wäschetrocknern, Geschirrspülern, Elektroherden und Backöfen durchgeführt, die durch die Sperrmüllabfuhr beseitigt werden. Hiernach ist das Aufkommen an Weißer Ware ungefähr doppelt so hoch wie das der Kühl- und Gefriergeräte. Dies liegt im jährlichen Mittel bei 16.000 Geräten.

Für die rd. 570.000 Einwohner und ca. 300.000 Haushalte errechnet sich somit ein Aufkommen von 32.000 Weiße-Ware-Geräten (jeder 18. Einwohner bzw. jeder 9. Haushalt entsorgt pro Jahr ein Weiße-Ware-Gerät). Bei einem mittleren Gewicht von 66 kg ergibt sich ein Gesamtaufkommen von ca. 2.100 t/a.

Das Aufkommen an Brauner Ware wird mit 400 t pro Jahr abgeschätzt. Grundlage dieses Aufkommens ist ein angesetztes Gerätegewicht von 25 kg und einem Aufkommen von ungefähr 16.000 Geräten pro Jahr bei einer Einwohnerzahl von 570.000 Einwohnern. Diese Abschätzung stellt m.E. eine Maximalvariante für die Erfassungsquote Braune Ware dar, da erstens das angesetzte Gewicht dem Gewicht großer, alter Fernsehgeräte entspricht und zweitens davon ausgegangen werden kann, daß die Haushaltskleingeräte nicht in relevantem Maße getrennt erfaßt werden können.

Hochgerechnet auf die Bundesrepublik ergibt sich eine Jahrestonnage von rd. 350.000 t. Mit dieser Erwartung liegt die Stadt im unteren Bereich der veröffentlichten Literaturprognosen. Die Unsicherheit der Datengrundlage für die Prognose des Gesamtaufkommens setzt sich fort bei der Zusammensetzung der Einzelgeräte. In der folgenden Tabelle ist die Bandbreite der Zusammensetzung von Computerschrott und der Zusammensetzung eines Fernsehers dargestellt:

*1: Entec Umwelttechnik GmbH, Grtlnstadt, 22.03.1993

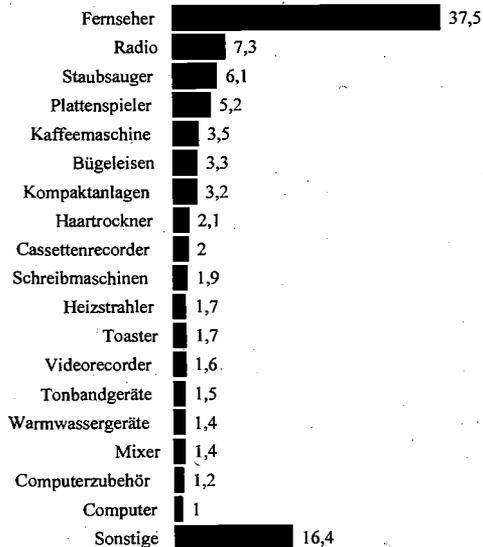
*3: Kellmann Computer Service, Osnabrück, 09.03.1993

*4: Zukunftswerkstatt Arbeit und Bildung GmbH, Duisburg, 02.07.1993

*5: Institute for International Research, Frankfurt, 26.06.1991

Fernseher [Gew.-%]				Computer [Gew.-%]		
	*8	*6	*7		*9	*5
Bildröhre	53	41	64	Eisen, Stahl	32,2	51,4
Holz	15	18	?	Kunststoff und Bildröhren	43,3	13,4
Kunststoff	5	10	14	Buntmetalle	11,5	26,1
FE-Metalle	3	16	8	Leiterplatten	6,5	3
Platinen	?	7	3	sonstiges	6,5	6,1
Trafos	3	3	6			
Kabel	2	2	2			
Cu-Draht	?	2	?			
sonstiges	19	1	3			

Aufgrund eines Projektes der Stadt Essen und der Thyssen-Entsorgungstechnik über die Sammlung von Brauner Ware zeichnete sich die überwiegende Anlieferung von Fernsehern ab (nahezu 40 %, siehe nächste Abbildung [abgegebene Geräte in %]^{*10})



*8: QUATTRO 2000, Brohl-Lützing, 22.04.93

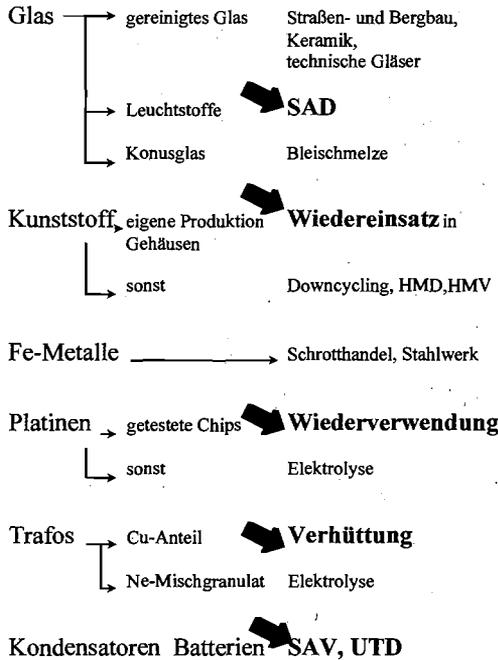
*6: EUROMET, Duisburg, 12.03.1993

*7: WESTAB Holding GmbH, Duisburg, 16.04.1993

*9: Sumara, Reppenstedt, 04.03.1993

*10: Dipl. Ing. R. Schlapka, Essen, 15.06.1992

Die Abfallströme, die bei der getrennten Erfassung von Elektronikschrott anfallen und für die Entlastung der MV-Aschebelastung relevant sein könnten, möchte ich anhand der folgenden Abbildung darstellen:



Die **Glas**fraktion kann in Abhängigkeit von den installierten Aufbereitungsstufen u.a. in eine gereinigte Fraktion separiert werden, die nach Aussage der Verwertungskonzepte als Industriekeramik bzw. als technische Gläser eingesetzt werden. Bisher würde diese Fraktion bei separierter Erfassung hauptsächlich in den Straßen- und Bergbau wandern.

Ein anderer Bestandteil des Glases sind die **Leuchtstoffe**. Als Entsorgungsweg ist die Sonderabfalldeponie angedacht. Diese Stoffe können rd. 0,2 Gew.-% eines Fernsehers ausmachen. Mengenrelevant ist diese Stoffgruppe somit nicht, jedoch wäre die Entlastung der Asche um das in den Leuchtstoffen enthaltene Cadmiumsulfid und Zinksulfid sicherlich wünschenswert.

Die dritte Fraktion aus der Glasaufbereitung ist das Konusglas. Dieses Glas enthält bis zu 23 Gew.-% **Blei**.

Die zweite mengenrelevante Fraktion aus Geräten der Braunen Ware ist der **Kunststoff**. Der

konzipierte Verbleib dieser Fraktion hängt vom Erfassungssystem ab. Einige Computerhersteller versichern den Wiedereinsatz dieser Kunststoffe in Gehäusen der eigenen Produktionslinie, sofern nur selbstproduzierte Geräte an die Hersteller zurückgeliefert werden. Bei einer Mischerfassung, d.h. der angedachten Poollösung zur gemeinsamen Erfassung aller Gerätetypen durch einen Beaufragten, soll ein Kunststoff verwertet werden, der um Vieles heterogener zusammengesetzt ist als der Kunststoff aus der Erfassung der Leichtstoffe nach der Verpackungsverordnung. Solange die Verwertungslinien aus den DSD-Kunststoffen sich nicht bewährt haben, halte ich den Versuch, auch diese Kunststoffvielfalt verwerten zu wollen, für verfrüht. M. E. bleibt für diese Kunststofffraktion nur der augenblicklich auch begangene Weg der Deponierung bzw. der Verbrennung.

Die dritte mengenrelevante Fraktion aus Geräten der Braunen Ware, die **Eisenmetalle**, können am unproblematischsten stofflich verwertet werden. Der Weg in die Verhüttung erscheint langfristig gesichert.

Die mengenrelevanten Bestandteile der Braunen Ware könne einer Verwertung zugeführt werden. Ob die Ökosphäre bei Inkrafttreten der Elektronikschrott-Verordnung stärker entlastet wird, als bei den augenblicklich eingeschlagenen Verwertungs- und Entsorgungsverfahren, möchte ich in den folgenden Kapiteln diskutieren.

Für die eigentlichen Elektronikbauteile bietet sich folgendes Bild. Es gibt Verwertungskonzepte für Platinen, wonach noch brauchbare Chips von der **Platine** abgelöst und wiederverwendet werden. Die Schwermetallbestandteile einer Platine können mit Hilfe der Elektrolyse in folgende Einzelfractionen gesplittet werden:

1. Nickellegierungen
2. Zinn-Bleigemisch
3. Kupfer und
4. ein Edelmetallgemisch.

Auch das Nichteisenmischgranulat aus den **Trafos** kann entsprechend der konzipierten Verfahrensschritte mit Hilfe der Elektrolyse wiederaufbereitet werden. Der größte Teil der Trafos besteht aus Kupfer. Diese können durch die Aufbereitungsverfahren der Verhüttung zugeführt werden. Der gleiche Verwertungsweg ist auch für das Kupfer in den **Kabeln** gangbar. Für die verbleibenden Bestandteile der Braunen Ware, die **Kondensatoren** bzw. die **Batterien**, ist die Entsorgung in der Sonderabfallverbrennung bzw. der Untertagedeponie angedacht.

Zusammenfassend sind folgende Aspekte der Stoffstromveränderung bei Greifen der Elektronikschrott-Verordnung und Realisierung der Pool-Lösung allein aus Sicht der Schadstoffentfrachtung des Sperrmülls wünschenswert:

1. Die Deponierung der Schwermetalle aus den Leuchtstoffen der Bildröhren,

2. die Wiederverwertung der Kupferanteile aus Trafos und Kabel und
3. die getrennte Entsorgung von Kondensatoren und Batterien.

Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, die Schadstoffentlastung durch die E-Schrottverwertung zu prognostizieren. Das angesetzte Geräteaufkommen basiert auf den Düsseldorfer Erfahrungen bei der Erfassung von Kühl- und Gefriergeräten bzw. auf aktuellen Zählungen, die durch die Kommune vorgenommen wurde. Die angesetzten Schwermetallgehalte der einzelnen Fraktionen wurden in der Tabelle vermerkt und begründen sich zum Teil auf eigenen Schätzungen und zum Teil auf Angaben der Hersteller. Insgesamt stellt die prognostizierte Schadstoffentlastung eine Maximalvariante dar, da alle Angaben nach oben abgerundet wurden.

(SM = Schwermetalle)	Blei	Kupfer	Sonstige
Bildröhre (1 kg SM)	16	-	-
Platinen (200 g SM)	-	-	9,6
Trafos (1 kg SM)	-	16	-
Kabel (0,5 kg SM)	-	24	-
Kupfer (0,5 kg SM)	-	8	-
Summe	16	48	9,6

Durch die Einführung der getrennten Erfassung von Weißer und Brauner Ware könnte der Sperrmüll in Düsseldorf maximal um 16 t Blei und um 48 t Kupfer pro Jahr entlastet werden.

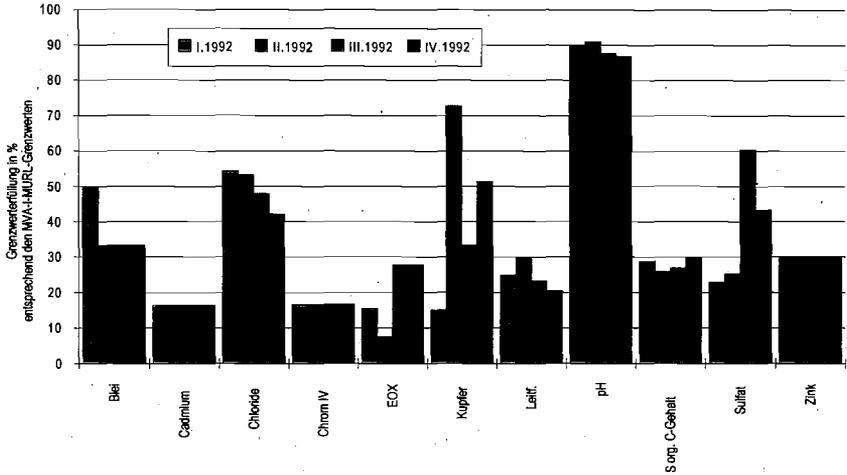
3. Entsorgungssituation der Stadt Düsseldorf

Aufgrund der vergangenen und laufenden Neu- und Ausbaumaßnahmen von Aufbereitungsanlagen ist Düsseldorf künftig nicht nur in der Lage, alle in ihrem Entsorgungsgebiet anfallenden Siedlungsabfälle und in Hausmüllverbrennungsanlagen zu behandelnden Gewerbeabfälle entsorgen zu können, sondern u.a. durch den Bau eines Koksfilters als letzte Rauchgasreinigungsstufe in der Lage, die Grenzwerte der 17. BImSchV einhalten zu können. So werden z.B. Dioxine, Furane und Quecksilber in dem nachgeschalteten Filter zurückgehalten. In der Nachverbrennung unter Sonderabfallbedingungen incl. Hg-Wäsche werden diese Schadstoffe zerstört bzw. der getrennt entsorgt.

Die Reststoffe aus der Müllverbrennungsanlage, insbesondere die MV-Aschen, erfüllen die qualitativen Anforderungen der Güteüberwachung gemäß Runderlaß des Ministers für Stadtentwicklung und Verkehr und des MURL vom 04. Juli 1991.*2

*2: Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen - Nr. 43 vom 4. Juli 1991, S. 885

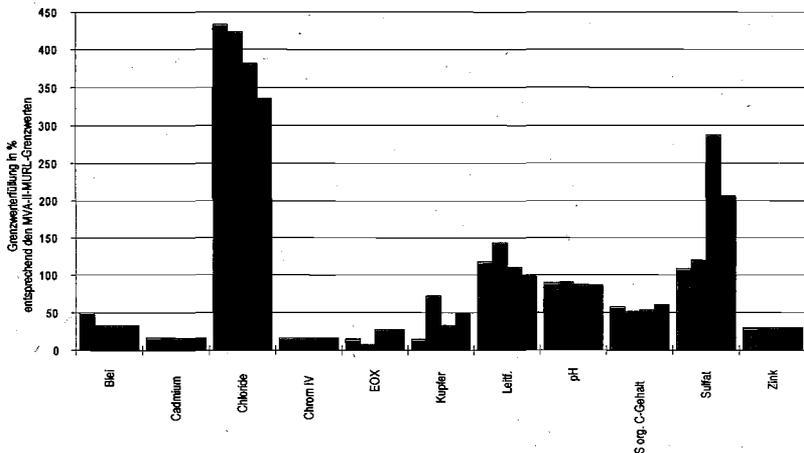
In der folgenden Abbildung ist die Qualität der Düsseldorfer MV-Asche aus dem Jahre 1992 als Grenzwertbefriedigung in Prozent angegeben (z.B. der Bleiwert aus dem 1. Quartal '92 schöpft 50 % des Grenzwertes aus).



Die Abbildung verdeutlicht, daß die Asche in allen Parametern die einzuhaltenden Grenzwerte für wasserwirtschaftliche Merkmale erfüllt.

Auch wenn die Forderung nach Reduzierung der wasserlöslichen Bestandteile, die z.Z. noch nicht gültig ist, greifen sollte, wird die Düsseldorfer MV-Asche die Schwermetalle-Grenzwerte einhalten.

Die nächste Abbildung verdeutlicht diesen Sachstand. Genau die Parameter, die durch Waschverfahren reduziert werden könnten, also Chloride und Sulfate sowie die Leitfähigkeit überschreiten augenblicklich noch die angestrebten Grenzwerte.



Beim Absatz der MV-Asche hat Düsseldorf also nicht das Problem, daß die Asche zu hoch belastet ist, sondern es fehlen entsprechend große Baumaßnahmen, um die gesamte Menge an MV-Asche im Düsseldorfer Umfeld unterbringen zu können. **Ein Handlungsdruck zur separaten Erfassung von Elektronikschrott besteht daher aufgrund der MV-Aschebelastung nicht.**

4. Stoffströme (Schwer- und Eisenmetalle)

Es ist allerdings unstrittig, daß der Eintritt von Schadstoffen in die Ökosphäre weitestgehend vermieden werden muß. Z.B. werden seit Mitte der 80er Jahre die Auswirkungen halogener Verbindungen auf die Stratosphäre diskutiert. Der direkte Zusammenhang zwischen Ozonabbau und FCKW-Emissionen und die resultierenden klimatischen und gesundheitlichen Folgen mündeten 1988 im Aufbau einer Erfassungslogistik für Kühl- und Gefriergeräte, um die FCKW's in den Produktionskreislauf zurückführen zu können. Durchschnittlich werden in Düsseldorf jährlich ca. 16.000 Kühl- und Gefriergeräte gesammelt. Die mittlere Lebensdauer pro Gerät liegt somit bei ca. 20 Jahren.

Andere Stoffgruppen, die dem Regelungsbereich der zu verabschiedenden Elektronikschrott-Verordnung unterliegen, werden in Düsseldorf bisher nicht getrennt erfaßt, sondern über eine Vorbehandlung durch Shreddern in der Müllverbrennungsanlage entsorgt. Durch die Verbrennung von ca. 430.000 t Abfall werden rd. 120.000 t MV-Asche erzeugt. Mit Hilfe eines Magnetabscheiders werden heute gut 8.000 t FE-Metalle separiert, um sie über den Schrotthandel der Verhüttung zuführen zu können. Diese Menge entspricht rd. 86 % der ge-

samtigen FE-Metalle in der Asche.

Aufgrund folgender Überlegungen wurde dieser Prozentsatz berechnet:

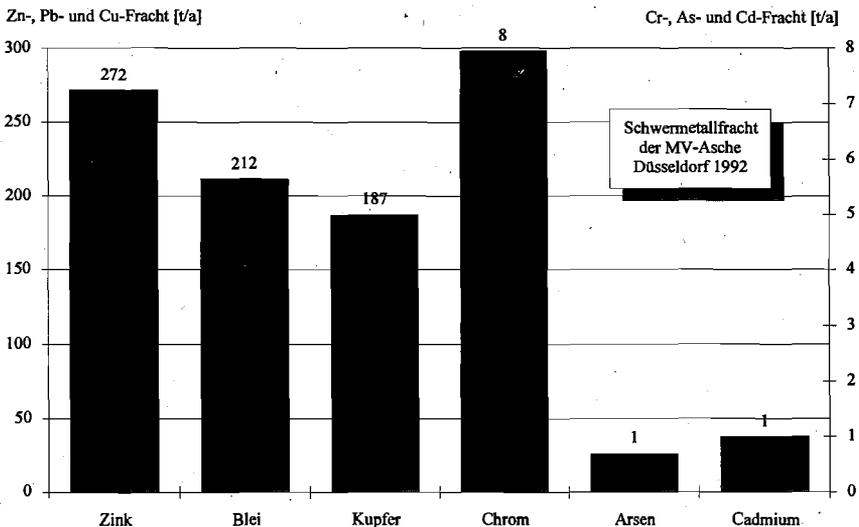
- ☞ Die Düsseldorfer Hausmüllanalyse von 92/93 ergab einen Fe-Anteil im Hausmüll von 10 kg/E.a.
- ☞ Das Aufkommen an Weiße-Ware-Geräten wird aufgrund eigener Zählungen (s.o.) mit rd. 2.100 t/a abgeschätzt.
- ☞ Der Fe-Anteil von Abfällen aus fremden Gebietskörperschaften, die ebenfalls in der Düsseldorfer MVA entsorgt werden, mit rd. 2.000 t abgeschätzt.

Insgesamt rechnet die Stadt mit einem Fe-Anteil im Input der Müllverbrennung von rd. 9.700 t/a. Somit ergibt sich eine Verwertungsquote für FE-Metalle von 86 %.

Bisher sind der Stadt keine Absatzschwierigkeiten der FE-Metalle bei den Schrotthändlern bekannt. **Auch dieser Aspekt der erhöhten Wiedergewinnung von FE-Metallen bzw. führt somit nicht zu einem Handlungsbedarf über die Sammlung von Kühl- und Gefriergeräten hinausgehende Erfassung von Brauner oder Weißer Ware.**

Ein weiteres Argument zur Verabschiedung der Elektronikschrott-Verordnung ist die Entfrachtung der Abfallströme von den Schwermetallen.

Im letzten Jahr wurde die MV-Asche auf ihre Feststoffgehalte an Schwermetallen untersucht. Zugrunde gelegt wurde bei allen Analysen das Verfahren nach DEV S 7. Die folgende Abbildung stellt die Schwermetallfracht der MV-Asche aus dem Jahre 1992 dar.



Durch die getrennte Erfassung Weißer und Brauner Ware könnte die MV-Asche um 6 % ihrer Bleifracht, 26 % ihrer Kupferfracht und rd. 10 t sonstiger Schadstoffe entfrachtet werden.

6. Bewertung

Alle mengenrelevanten Bestandteile der Weißen und der Braunen Ware werden heute über die gleichen Wege der stofflichen Verwertung zugeführt, wie es nach Greifen der Elektronik-Verordnung angestrebt wird.

Das gereinigte Glas soll im Straßen- und Bergbau eingesetzt werden. Auf diese Weise werden die MV-Aschen heute bereits verwertet.

Das Konusglas soll der Bleischmelze zugeführt werden. Die Abtrennung des Bleioxids wird sich auf die Feststoffgehalte der MV-Asche meßbar auswirken, ökologisch relevant erachte ich die Getrennthaltung in diesem Fall jedoch nicht, da dieser Bleigehalt aufgrund seiner schlechten Eluierbarkeit nicht in die Ökosphäre eintreten wird.

Der Kunststoff sollte nach der heute marktüblichen Schnellanalytik sicherheitshalber verbrannt werden. Dje geschieht in den Kommunen, die über einer MVA verfügen heute bereits und wird nach Ablauf der Übergangsfrist der TA Siedlungsabfall auf alle Kommunen zutreffen.

Die Eisenmetalle können heute nach Abtrennung aus der MV-Asche und künftig nach der Handzerlegung der Verhüttung zugeführt werden.

Die Verwertungsquoten werden m.E. auch mit der Elektronik-Verordnung nicht wesentlich steigen. **Zu bewerten bleibt der Verwertungsweg.** Ist es sinnvoller, "nicht brennbare" Geräte durch die Verbrennung und ihre vor- und nachgeschalteten Aggregate ohne großen zusätzlichen Personal- und Transportaufwand zu behandeln oder ist die Belastung gesamtökologisch kleiner, wenn die zwangsläufig längeren Transportwege incl. Bau von Zerlege- und Aufbereitungsanlagen akzeptiert werden?

Unstrittig positiv zu bewerten ist die Schadstoffentfrachtung des Spermülls durch die Abtrennung der Leuchtstoffe, der Kondensatoren und der Batterien. Auch die Verwertung des Kupfers aus Trafos und Kabeln ist ohne Zweifel wünschenswert.

Allerdings erscheint mit die Verabschiedung einer Elektronikschrott-Verordnung nur für diesen augenblicklich einzigen positiv zu beurteilenden Aspekt als zu hoch gegriffen.

Erfassung von Elektro- und Elektronikgeräten aus der Sicht eines Entsorgers

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. N. Evermann

1 Ausgangssituation

Mit dem Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (AbfG) vom 27.08.1986 hat der Gesetzgeber Produzent, Hersteller und Handel grundsätzlich verpflichtet, ihre Erzeugnisse nach Gebrauch durch den Anwender zurückzunehmen. Sie sind dem Wirtschaftskreislauf oder zur Wahrung des Allgemeinwohls, einer geordneten Entsorgung zuzuführen. Die Verantwortungszuweisung erfolgt durch Rechtsverordnung. Die Grundlage hierfür stellt der § 14 AbfG 1986 dar, der die Bundesregierung ermächtigt, Rechtsverordnungen hinsichtlich

- * Kennzeichnungspflicht
- * Pflicht zur getrennten Entsorgung
- * Rücknahme- und Pfandpflicht
- * Verbot oder Einschränkung des Inverkehrbringens

zu erlassen.

Auf dieser Grundlage hat der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit am 11.07.1991 den Entwurf einer "Verordnung über die Vermeidung, Verringerung und Verwertung von Abfällen gebrauchter elektrischer und elektronischer Geräte (Elektronik-Schrott-Verordnung)" vorgelegt.

Das Ziel des Entwurfs zur Elektronik-Schrott-Verordnung ist, Abfälle aus gebrauchten elektrischen und elektronischen Geräten zu vermeiden und zu verringern. Dieses Ziel soll im wesentlichen durch nachstehende Maßnahmen erreicht werden:

1. Bei der Neukonstruktion von Geräten sollen durch geeignete Maßnahmen die Aspekte der Abfallvermeidung und einer umweltverträglichen Verwertung berücksichtigt werden.
2. Für die Erfassung von Altgeräten ist das Einrichten von Sammelstellen erforderlich. Diese sollen für den Endverbraucher leicht erreichbar sein und eine hohe Rücklaufquote gewährleisten.

3. Die zurückgenommenen Altgeräte oder Geräteteile sind einer erneuten Verwendung oder einer Verwertung zuzuführen. Die Verwertung soll vorrangig stofflich erfolgen.
4. Zurückgenommene Geräte oder Geräteteile, die nicht verwertbar sind, müssen als Abfall entsorgt werden.
5. Die aus der Rücknahme und der Verwertung/Entsorgung entstehenden Kosten sollen von den Herstellern und Vertreibern bei Festlegung der Preise für neue Geräte berücksichtigt werden. Damit muß der Letztbesitzer zum Zeitpunkt der späteren Abgabe nicht mehr für die Verwertung/Entsorgung seines Altgerätes zahlen.

Von der Verordnung betroffen ist die komplette Bandbreite der elektrischen und elektronischen Geräte. (§ 3 Abs. 1 E-Schrott-VO).

Aufgrund anhaltender Kritik, insbesondere seitens des Handels und der Produzenten, ist es zur Überarbeitung des Referentenentwurfes zur Elektronik-Schrott-Verordnung vom 11.07.1991 gekommen. So sieht z. B. das Arbeitspapier vom 15.10.1992 nach der Einbeziehung von Änderungsvorschlägen beteiligter Kreise, in Abänderung des Referentenentwurfes vom 11.07.1991, vor, daß die Vertreter "vom Endverbraucher ein Entgelt für die Rücknahme elektrischer oder elektronischer Geräte verlangen" können, sofern die Geräte vor Inkrafttreten der Elektronik-Schrott-Verordnung in den Markt gebracht worden sind oder nach dem Inkrafttreten der Rücknahmeverordnung vom Endverbraucher in den Geltungsbereich des Abfallgesetzes verbracht oder dem Endverbraucher von einem Vertreter mit Geschäftssitz außerhalb des Geltungsbereiches des Abfallgesetzes geliefert worden sind. Weitere Änderungen sind zu erwarten, bevor die Elektronik-Schrott-Verordnung in Kraft treten kann.

Das wesentliche Instrument der Elektronik-Schrott-Verordnung zur Durchsetzung o.g. Ziele ist die Verpflichtung von Herstellern und Vertreibern zur Rücknahme von gebrauchten elektrischen oder elektronischen Geräten. Die Verordnung läßt allerdings alternativ zur Rücknahme durch die Vertreter ausdrücklich die Möglichkeit zu, ein flächendeckendes Erfassungssystem mit endverbraucher-nahen Annahmestellen aufzubauen. Hersteller und Vertreter müssen die Rücknahme und Verwertung/Entsorgung jedoch nicht selbst durchführen, sondern sie können sich zur Erfüllung ihrer Pflichten Dritter bedienen. Die beauftragten Dritten haben dabei den Nachweis zu erbringen, daß sie bei der Rücknahme und Verwertung/Entsorgung die Anforderungen des AbfG 1986 und der Elektronik-Schrott-Verordnung erfüllen. Damit drückt der Gesetzgeber seinen Willen aus, die bisher von den öffentlich-rechtlichen Gebietskörperschaften (Landkreise, kreisfreie Städte) erbrachten Leistungen zu

privatisieren. Mit Inkrafttreten der Elektronik-Schrott-Verordnung wird somit für alle gebrauchten E-Geräte der Weg in die öffentliche Abfallentsorgung nicht mehr verfügbar sein, womit der Eintrag umweltgefährdender Stoffe in den Hausmüllpfad unterbunden wird. Mit dieser Maßnahme soll verhindert werden, daß die überwiegende Gerätezahl in die thermische Abfallbehandlung oder auf die Deponie verbracht werden.

Da die Rücknahmeverpflichtung vor allem den Handel vor kaum lösbare Probleme stellt, wird die Umsetzung der Elektronik-Schrott-Verordnung nur durch eine Kooperation mit beauftragten Dritten möglich sein. Dazu ist es erforderlich, in Deutschland ein flächendeckendes Erfassungs- und Verwertungssystem für elektrische und elektronische Geräte aufzubauen, das allen gesetzlichen Ansprüchen genügt.

2 Festlegung der Ziele

Bevor über geeignete Erfassungssysteme gesprochen werden kann, muß sich jeder vor Augen führen, welche Ziele erreicht werden sollen. Aus der Vielzahl möglicher Ziele sind in nachstehender Abbildung (Abb. 1) exemplarisch einige denkbare Ziele herausgestellt:

Abb. 1 Festlegung der Ziele

- * **möglichst alle Geräte erfassen?**
(unabhängig von Größe, Gewicht, Handhabbarkeit)

- * **möglichst große Bequemlichkeit für den Abgebenden?**
(Abholung nahe der "Haustür")

- * **Konsequente Anwendung des Verursacherprinzips**
(der Abgebende zahlt kostendeckend)

- * **Stoffliche und energetische Verwertung sind gleichwertig**

Häufig wird einfach und schnell vertautbart, Ziel sei es, möglichst alle elektrischen und elektronischen Geräte zu erfassen. Gleichzeitig wird aber betont, daß die Erfassung, Sammlung, Zerlegung, Verwertung sowie die Entsorgung verbleibender Reste zu niedrigen Kosten und die Gebührenerhebung verursachergerecht erfolgen müsse. Wenn es jedoch erklärtes Ziel ist, unabhängig von Art, Größe, Gewicht und Handhabbarkeit alle elektrischen und elektronischen Geräte zu erfassen, um sie einer gesonderten Verwertung zuzuführen, dann muß das Erfassungssystem derart aufgebaut werden, daß dieses Ziel bei größtmöglicher Zielerreichung verwirklicht wird. Dann wird das zu installierende Erfassungssystem sicherlich anders zu gestalten sein, als wenn andere Ziele im Vordergrund stehen, denn häufig liegt Zielkonkurrenz vor.

Ein anderes Ziel könnte sein, dem Abgebenden einen größtmöglichen Komfort zuteil werden zu lassen. Das impliziert, daß die Erfassung und Sammlung der Geräte nahe der "Haustür" des Letztbesitzers erfolgen muß.

Ein weiteres Ziel könnte die konsequente Anwendung und Umsetzung einer verursachergerechten Kostenerstattung nach dem Motto sein: "Ich zahle für meinen Abfall, mein Nachbar für seinen Abfall". Damit ist die Idee verbunden, einen ökonomischen Anreiz für einen sinnvollen und sparsamen Umgang mit begrenzten ökologischen Ressourcen zu schaffen. Das bedeutet, daß das zu installierende Erfassungssystem dafür Sorge zu tragen hat, daß der Letztbesitzer die Kosten für den nachgeschalteten Prozeß selbst trägt. Damit sind vom Abgebenden, die gesamten Kosten für Annahme, Transport, Sortierung, Demontage, Fraktionierung, Aufbereitung sowie Verwertung/Entsorgung zu bezahlen.

Weiterhin ist es bedeutsam zu wissen, welche gesetzlichen Vorgaben die Elektronik-Schrott-Verordnung hinsichtlich der Art der Verwertung macht. Wenn die gesetzliche Vorgabe lautet, daß stoffliche und energetische Verwertung gleichwertig sind - gleichgültig wer, was sonst noch in der öffentlichen Diskussion äußert - dann wird die Art der Verwertung/Entsorgung gemäß den Gesetzen der Marktwirtschaft ungleich anders aussehen, als wenn die stoffliche Verwertung eindeutig Vorrang vor der energetischen Verwertung hat, wobei die stoffliche Verwertung immer noch eindeutig definiert werden müßte. Das Erfassungssystem wird sich entsprechend anders gestalten, da es sich auch auf den nachgeschalteten Prozeß einzurichten hat.

Allein diese kleine Auswahl möglicher, zu realisierender Ziele zeigt mit aller Deutlichkeit die Problematik auf und macht anschaulich, welche Konsequenzen unterschiedliche Ziele auf den gesamten Prozeß von der Erfassung bis hin zur Verwertung/Entsorgung haben. Häufig ist festzustellen, daß einige die zu erreichenden Ziele nicht klar formulieren, bzw. daß man im vorhinein "seine Lösung im Kopf hat", ohne zu bedenken, ob sich mit der favorisierten

Lösung wirklich die zuvor formulierten Ziele ökologisch und ökonomisch sinnvoll erreichen lassen.

3 Beteiligte

An der Realisierung der Elektronik-Schrott-Verordnung sind insbesondere die in nachstehender Abbildung (Abb. 2) genannten Gruppen beteiligt. Erst durch die systematische Vernetzung der Kompetenzen und Möglichkeiten aller beteiligten Kreise wird eine geordnete Rücknahme und Verwertung des Elektronik-Schrotts mit der damit verbundenen Entlastung für die Umwelt möglich sein.

Abb. 2 Beteiligte

- * private Haushalte
- * Handel / Fachhandel
- * Versandhäuser
- * Reparaturbetriebe / Handwerksbetriebe
- * Wertstoff- / Recyclinghöfe
- * Produktionsbetriebe
- * gewerbliche Betriebe
- * Bildungseinrichtungen

Die privaten Haushalte müssen u. a. die Bereitschaft mitbringen, ihre elektrischen und elektronischen Geräte an den entsprechenden Sammelstellen abzugeben und ggf. direkt für deren Verwertung/Entsorgung zu bezahlen. Wenn der Endverbraucher die Erfassungssysteme, gleich welches, nicht annimmt, wird das gesamte System scheitern.

Die Beteiligung des Handels besteht in seiner Verpflichtung zur Rücknahme elektrischer und elektronischer Geräte (§ 2 Abs. 1 E-Schrott-VO). Der Versandhandel ist durch § 2 Abs. 2 in die Vorschriften der Verordnung einbezogen.

Die Reparatur- und Handwerksbetriebe sind ebenso mit in das Erfassungssystem einzubeziehen. In diesen Betrieben fällt ausgetauschter Elektronik-Schrott an, und der Endverbraucher überläßt diesem Kreis nicht selten seine ausgedienten Geräte.

In gleicher Weise sollte man bestehende oder noch zu gründende Recyclinghöfe mit in das Logistiksystem einplanen. Die Recyclinghöfe können z. B. als Anliefer- und Sammelstellen für Elektronik-Schrott-Geräte dienen.

Ferner sind die Vormaterialhersteller in das Verwertungssystem mit einzubinden. Erst durch deren Mitarbeit ist eine geordnete Wiederverwendung/-verwertung ausgedienter Wertstoffe möglich. Sie verfügen über das Verarbeitungs-Know-How für die Vorprodukte und beherrschen den Zuliefermarkt. Eine geordnete Rücknahme kann nur erfolgreich sein, wenn man für aufbereitete Wertstoffe/Produkte einen Markt hat.

Durch Aufklärung und Schulung aller Beteiligten muß für die Akzeptanz des gesamten Systems geworben werden. Nur so kann die Bereitschaft aller, mitzumachen, gefestigt und weiter gefördert werden. Die verschiedenen Bildungseinrichtungen können durch Aufklärung dazu beitragen, daß sich eine gesellschaftliche Akzeptanz einstellt, die es ermöglicht, daß Bund, Länder und Gemeinden die erforderlichen Maßnahmen treffen können, damit die erforderlichen Genehmigungsverfahren für die zu installierenden Systeme und Anlagen zügig durchgeführt werden können.

4 Voraussetzungen für die Erfassung

Eine der wesentlichen Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung der Rücknahmeverordnung ist die Kenntnis der Organisation bei allen Beteiligten (Abb. 3). Der Endverbraucher muß demnach wissen, wie das Erfassungs- und Sammelsystem funktioniert. Konkret muß er wissen, wann er wo und wie, welche Art von elektrischen und elektronischen Geräten abgeben kann. Die dazu notwendigen Informationen müssen derart publik gemacht werden, wie es der Endverbraucher z.B. von der Schadstoff- oder Sperrmüllsammlung her

kennt. Dazu dienen u.a. allgemeine Aufklärungsveranstaltungen, -broschüren, vorher verteilte Terminkalender, Informationen in Tageszeitungen, Wochenblätter, Funk und Fernsehen.

Abb. 3

Voraussetzungen für die Erfassung

- * **Kenntnisse über die Organisation**
(analog Schadstoffsammlung, Sperrmüllsammlung)

- * **bequem nutzbare Technik**

- * **Abholung schwerer Geräte**
 - durch Fachhandel
 - durch dafür beauftragtes Unternehmen

(i.a. erfolgt Abholung im Zusammenhang mit Neubeschaffung, also als Tausch)

- * **Anwendung von**
 - Holsystem
 - Bringsystem
 - Kombination

Entscheidend für den Erfolg eines Konzeptes ist, daß die angewandte Technik für den Endverbraucher bequem nutzbar ist und die Sammelstellen für ihn leicht erreichbar sind. Das erst bewirkt eine hohe Akzeptanz beim Bürger, was die Voraussetzung zur Erreichung einer hohen Rücklaufquote ist. Denn die vielfältigen Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, daß, wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, die Bevölkerung das Gesamtkonzept ablehnt und die Stoffe die gewohnten Wege gehen.

In diesem Sinn ist es notwendig, daß schwere Geräte beim Letztbenutzer abgeholt werden. Das kann durch den Fachhandel oder durch dafür beauftragte Unternehmen geschehen. In der Regel erfolgt die Abholung durch den Fachhandel nur im Zusammenhang mit der Neubeschaffung eines Gerätes.

Grundsätzlich ist bei der Erfassung zwischen Hol- und Bringsystemen zu unterscheiden. Je nach Einsatzgebiet und in Abhängigkeit von den Erfordernissen des jeweiligen Einzelfalles können dabei verschiedene Varianten zur Anwendung kommen, wobei insbesondere die Kombination von Hol- und Bringsystem sinnvoll sein kann. Um eine hohe Erfassungsquote zu erreichen, bedarf es eines mehrdimensionalen Erfassungs- und Sammelsystems. Die Wege der Rücknahme gebrauchter elektrischer und elektronischer Geräte haben sich nach den Bedingungen des Marktes und seiner Strukturen sowie nach den technischen Gegebenheiten der Geräte zu richten.

Dabei hat sich das System insbesondere nach

- * Verbraucherbedarf
- * Bedürfnisse und das Verhalten der Verbraucher
- * Mengenanfall
- * Geräteeigenschaften (Art, Größe, Schadstoffpotential, Verwertungsmöglichkeiten)

zu richten. Dazu ist eine Abstimmung der Sammelorte, Behältersysteme und Sammelzeiten auf die jeweiligen verwertungsspezifischen Eigenschaften der E-Geräte und deren Herkunft erforderlich.

5 Möglichkeiten der Erfassung

Wie oben ausgeführt, muß sich das Erfassungssystem an den gesetzten Zielen und den speziellen Gegebenheiten des Sammelgebietes orientieren. Daher ist es nicht möglich, an dieser Stelle Patentlösungen darzulegen. Vielmehr kann im folgenden nur eine allgemeine Darstellung der Möglichkeiten zur Erfassung von Elektro- und Elektronikgeräten gegeben werden. Einige Möglichkeiten sind der nachstehenden Abbildung (Abb. 4) zu entnehmen.

Dabei können Erfassung, Sammlung und Transport von elektrischen und elektronischen Geräten prinzipiell durch den Vertreiber, Hersteller, Importeur, die beauftragte öffentliche Körperschaft oder durch beauftragte private Dritte erfolgen. Der Auf- und Ausbau eines entsprechenden Erfassungssystems wird hierbei sicherlich das Zusammenwirken aller Beteiligten erfordern, so daß sich Mischformen als gemeinsame Lösung ausbilden werden.

Abb. 4

Möglichkeiten zur Erfassung

- * Nutzung vorhandener Technik und Organisation
- * Abstimmung der Pack- und Transporthilfen mit dem Behandlungsbetrieb
(z.B. Palettierung, stapelbare Container)
- * grobe Vorsortierung in Gruppen gleicher/ähnlicher Geräte
- * besondere Umschließung von Geräten mit möglichen Gefährdungen
(z.B. Flüssigkeitsfüllungen)
- * Sammlungen
 - auf Abruf
 - kalendermäßig(z.B. analog "Schadstoffsammlung")

Eine grundsätzliche Möglichkeit zur Erfassung der E-Geräte besteht in der Nutzung der vorhandenen Organisation und vorhandener Techniken.

So besteht eine Möglichkeit darin, daß die Rückführung der Elektro- und Elektronikgeräte direkt durch den beauftragten privaten Dritten erfolgt. Beim Holsystem werden die Geräte durch den privaten Verwerter direkt beim Endverbraucher abgeholt. Das kann kalendermäßig oder auf Abruf erfolgen. Die tumusmäßige Abholung könnte z.B. analog oder zusammen mit der Spermüllabfuhr durchgeführt werden. Bei diesem System ist eine Vorsortierung durch das qualifizierte Personal des privaten Ververters möglich. Die Geräte können dann direkt oder nach Vorsortierung und Zusammenstellung zu größeren Transporteinheiten gleicher oder ähnlicher Geräte zum Demontagezentrum der beauftragten privaten Verwertungsunternehmen transportiert werden.

Bereits bei der Erfassung und Sammlung sollte man darauf achten, die Pack- und Transporthilfen, wie z.B. Palettierung, stapelbare Container, auf die Bedürfnisse des Verwertungsunternehmens abzustimmen. Hierdurch werden weitere, unnötige Umladevorgänge vermieden, was zu einer höheren Sicherheit und zu niedrigeren Kosten führt. Es stehen auch Techniken zur Verfügung, mit denen es möglich ist, Geräte mit besonderem Gefährdungspotential, wie z.B. mit Flüssigkeitsfüllung, besonders zu umschließen. Mit diesen Techniken kann die von den Geräten ausgehende Umweltgefährdung auf dem gesamten Weg von der Erfassung bis zur Annahme im Demontagezentrum ausgeschlossen werden.

In den Demontagezentren wird eine Schadstoffentfrachtung und soweit durchführbar, eine Fraktionierung der Geräte vorgenommen. Direkt vermarktbar Fraktionen werden zur Verwertung weitergegeben. Nicht verwertbare Fraktionen werden entsprechend den gesetzlichen Vorgaben entsorgt und solche Fraktionen, die vor der Verwertung einer zusätzlichen Aufbereitung bedürfen, werden zentralen Aufbereitungsanlagen zugeführt. Die Schnittstelle zwischen Sammellogistik und Verwertung ist die Aufnahme der Altgeräte im Demontagezentrum. Bei dem System der Drittbeauftragung eines privaten Verwerter bestehen die Vorteile für den Endverbraucher und für den Auftraggeber u.a. in der kontrollierten Sammlung, der hohen Akzeptanz durch den Endverbraucher und darin, daß der Handel und die Produzenten keine Lagerkapazitäten vorhalten müssen. Ferner brauchen der Handel und die Produzenten für die Aufgaben keine eigenen Investitionen zu tätigen, kein eigenes Personal auszubilden und zu binden. Diese Variante ermöglicht es dem Handel und den Produzenten, flexibel auf Veränderungen zu reagieren.

Eine weitere Möglichkeit der Erfassung im Holsystem besteht in der Rückführung der Geräte direkt über den Handel und die Produzenten. Der Handel tauscht bei der Auslieferung von Neugeräten die Altgeräte aus oder holt die Altgeräte auf oben beschriebene Art und Weise direkt beim Endverbraucher ab. Der Handel lagert dann die Altgeräte zwischen. Der Produzent holt die Geräte turnusgemäß oder auf Abruf beim Handel ab, bereitet diese danach selbst weiter auf oder transportiert die Geräte zum Demontage- und Recyclingzentrum, wo ein beauftragter privater Dritter oder Kooperationspartner die weitere Verwertung übernimmt. Beim Versandhandel kann die Rückführung durch den Paketdienst erfolgen. Die Geräte werden dann zum Produzenten oder direkt zum Demontage- und Recyclingzentrum des beauftragten privaten Verwerter geliefert.

Das Holsystem wird den Handel und die Produzenten, sofern sie möglichst alle Elektro- und Elektronikgeräte erfassen sollen, vor kaum lösbare Probleme stellen, da sie dann ein eigenes, kostenintensives Erfassungssystem aufbauen müßten, ohne auf ausreichende Vorkenntnisse und auf bestehende Systeme zurückgreifen zu können.

Dagegen werden sich Bringsysteme für den Handel und für die Produzenten einfacher gestalten, wenn sie keinen der privaten Verwerter/Entsorger mit der Erfassung, Sammlung und Verwertung beauftragen bzw. nicht mit diesen kooperieren möchten.

Im Fall der Rückführung der Geräte im Bringsystem über den Handel und die Produzenten wird der Endverbraucher seine elektrischen und elektronischen Geräte selbst zum Verkaufsort bringen müssen. Der Handel muß die Geräte zwischengelagern, damit sie dann turnusgemäß oder auf Abruf vom Produzenten abgeholt und zum eigenen oder fremden Demontage- und Recyclingzentrum transportiert werden können. Die Vorteile sind u.a. darin zu sehen, daß der Händler die Erfassung und Sammlung kontrollieren und die Altgeräte vorsortieren kann. Nachteile sind die geringe Akzeptanz beim Endverbraucher, insbesondere bei Großgeräten, und das Vorhalten von Lagerkapazitäten. Außerdem muß bei diesem System bedacht werden, daß i.d.R. die Altgeräte ihren Besitzer in den repräsentativen, speziell auf den Verkauf ausgerichteten Ladenlokalen wechseln würden, was nicht unbedingt absatzfördernd sein wird.

Zum anderen besteht die Möglichkeit, daß der Verbraucher seine Altgeräte zu einem zentral gelegenen Recyclinghof bringt. Hier wäre ebenso eine fachgerechte Vorsortierung und kontrollierte Erfassung möglich. Von diesem Ort aus könnten die Geräte in größeren Einheiten direkt an spezialisierte Verwertungsunternehmen weitergeleitet werden. Nachteile sind darin zu sehen, daß vorhandene Sammelstellen ausgebaut und weitere, zentral gelegene Sammelstellen neu eingerichtet werden müßten. Ferner ist, wie im zuvor geschilderten Fall, mit einer geringen Akzeptanz durch den Endverbraucher zu rechnen, insbesondere bei Großgeräten und bei langen Transportwegen.

Eine kostengünstige Möglichkeit zur Erfassung bieten Depotcontainer, die in größerer Stückzahl haushaltsnah aufgestellt werden können. Die Möglichkeit der direkten Weiterleitung zu einem Demontage- und Recyclingzentrum ist gegeben. Nachteilig wirken sich die geringe Akzeptanz bei Großgeräten und die fehlende Kontrollmöglichkeit bei der Anlieferung durch den Endverbraucher aus. Im Haushalt fallen nicht nur Elektro- und Elektronikgeräte, sondern viele weitere Gebrauchsgüter mit spezifischer Abfallrelevanz an. Die Gefahr der Vermischung von E-Geräten mit anderen Wertstoffen und Abfällen ist realistisch gegeben. Eine spätere Sortierung ist aufwendig, bzw. durch die unkontrollierte Erfassung wird eine weitere Verwertung erschwert oder gar unmöglich.

Es besteht ferner die Möglichkeit, mobile Sammeleinrichtungen zu nutzen, analog zum Schadstoffmobil. Hier ist eine kontrollierte Anlieferung und Vorsortierung durch geschultes Fachpersonal möglich. Eine hohe Akzeptanz kann durch kurze Transportwege für den Endverbraucher erreicht werden.

Bei all den dargestellten Möglichkeiten der Organisation von Erfassungs- und Sammelsystemen wird es nicht entscheidend sein, ob Einzel-, Pool- oder sonstige Kooperationslösungen angestrebt werden. Entscheidend ist vielmehr, daß die Erfassungs- und Sammelsysteme produktgruppenbezogen aufgebaut werden, wenn hohe Rücklaufquoten und die vorgesehene Finanzierung erreicht werden sollen. Dabei bietet es sich an, die im Referentenentwurf zur Elektronik-Schrott-Verordnung vorgenommene Unterteilung in Kleingeräte, Großgeräte und Investitionsgüter aufzunehmen. Eine denkbare Lösung zur Umsetzung der geplanten Elektronik-Schrott-Verordnung könnte wie folgt aussehen:

Die Produktgruppe der Kleingeräte zeichnet sich dadurch aus, daß sie mülltonnengängig sind. Die Kosten für ihre geordnete Verwertung und Entsorgung ist im Vergleich zum Produktpreis sehr hoch. Wenn für diese Produktgruppe die Zielsetzung der Elektronik-Schrott-Verordnung erreicht werden soll, kann für die geordnete Verwertung und Entsorgung der Kleingeräte vom Endverbraucher keine direkte Gebühr erhoben werden. Die Gefahr einer vom Gesetz-/Verordnungsgeber nicht gewollten, ungeordneten Verbringung ist zu groß.

Nach den Erfahrungen bei der Rückgabe von Altbatterien und den Möglichkeiten des Handels sollte auch die kostenlose Rückgabe an den Handel ausscheiden. Realisierbar scheint für die Gruppe der Kleingeräte nur ein verbrauchernahes Erfassungs- und Sammelsystem zu sein, das die Hausmüllentsorgung ergänzt, wie z.B. die Sammlung von DSD-Material oder die Schadstoffsammlung mit dem Schadstoffmobil. Nicht möglich scheint eine Unterscheidung zwischen Alt- und Neugeräten. Dies müßte bei der Entwicklung von Finanzierungssystemen berücksichtigt werden.

Im Gegensatz zu den Kleingeräten besteht bei den Großgeräten kaum die Gefahr einer ungeordneten Verbringung, da die Abmessungen und Gewichte dieser Gerätegruppe zu groß sind und die Kosten für ihre geordnete Verwertung und Entsorgung im Vergleich zum Produktpreis gering sind. Aus diesen Gründen bietet sich für diese Gerätegruppe zur Umsetzung der Elektronik-Schrott-Verordnung eine Vielzahl von Erfassungssystemen an. Eine Differenzierung zwischen Alt- und Neugeräten scheint hier möglich.

Ein verbrauchernahes Erfassungs- und Sammelsystem kann sowohl über den Handel als auch ohne Einbeziehung des Handels produktspezifisch organisiert werden. Sieht man zunächst von Haushaltsauflösungen ab, so werden ausgediente Großgeräte i.d.R. nur anfallen, wenn sie durch Neugeräte ersetzt werden. Insofern bietet es sich an, daß der Fachhandel als auch der Versandhandel die Geräte in Erweiterung seiner Dienstleistung erfaßt und einer geordneten Verwertung und Entsorgung zuführt. Ein derart aufgebautes Erfas-

sungs- und Sammelsystem scheint besonders verbraucherfreundlich, da der Austausch neu gegen alt erfolgt.

Denkbar für die Gruppe der Großgeräte ist die Beibehaltung des heute bereits praktizierten Kühlgeräteerfassungssystems. Die Abholung wird, wie zuvor oben beschrieben, durch ein Abrufkartensystem organisiert und erfolgt durch ein hierfür eingesetztes Sammelsystem. Ebenso könnte alternativ auch eine der Sperrmüllsammlung vergleichbare Erfassungslogistik eingesetzt werden.

Für die Investitionsgüter sieht die Elektronik-Schrott-Verordnung einzelvertragliche Regelungen vor. Infolge der i.d.R. direkten Kunden-Hersteller-Beziehungen wird hier die Erfassung direkt beim Kunden von den Herstellern bzw. beauftragten Dritten/Verwertern erfolgen. Übergreifende Lösungen werden weder für die Erfassung noch für die Finanzierung geplant.

Die nachstehende Abbildung (Abb. 5) zeigt beispielhaft, wie die Logistik für Klein- und Großgeräte aussehen könnte. Die Angaben in Anzahl und Menge beziehen sich auf die alten Bundesländer. Die Unterscheidung zwischen Klein- und Großgeräten ist nach dem Gerätevolumen erfolgt.

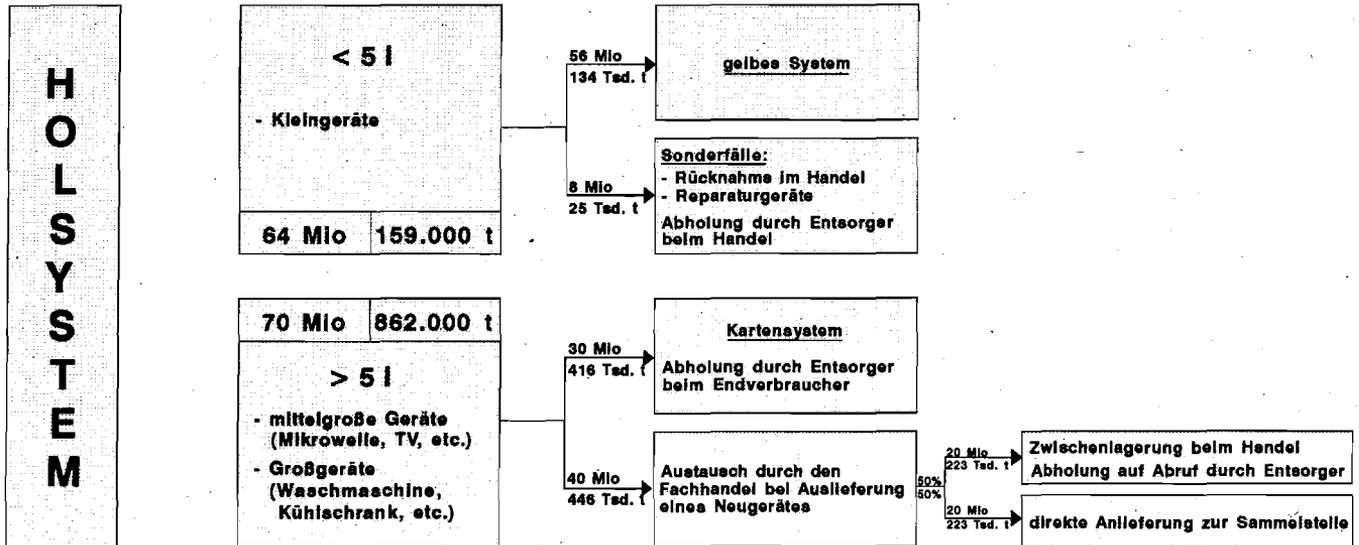
Als Fazit ist festzuhalten, daß bei den großen, privaten Verwertern/Entsorgern die für die geordnete Umsetzung der Elektronik-Schrott-Verordnung notwendige Logistik-Technik verfügbar ist. Die privaten Verwerter/Entsorger sind darauf eingerichtet, sich auf die Bedürfnisse des Marktes einzustellen und die ihnen zugedachte Rolle verantwortlich wahrzunehmen und aktiv an der Umsetzung der Elektronik-Schrott-Verordnung mitzuwirken. Die vorhandene Logistik-Technik kann dabei ohne größere Anstrengungen dem Bedarf angepaßt werden. Grundlagen und Voraussetzungen hierfür sind jedoch klare Regeln, die für alle Beteiligten gelten, und deren Einhaltung durch die entsprechenden Organe kontrolliert und durchgesetzt wird.

6 Finanzierung

Die beste Technik und das beste Rückführungssystem nützen nichts, wenn die Finanzierung des Systems nicht funktioniert. Das Finanzierungssystem hat tragfähig sicherzustellen, daß die gesamten Kosten für den Recyclingprozeß gedeckt werden können.

Generell ist festzuhalten, daß die Kosten für den gesamten Recyclingprozeß von der Rückführung des Produktes über die Verwertung bis hin zur Vermarktung der Sekundärrohstoffe

Abb. 5
LOGISTIK (alte Bundesländer)



und der Entsorgung der nicht vermarktaren Reststoffe nicht von den Erlösen der Sekundärrohstoffe gedeckt werden kann. Vielmehr werden die Kosten für die qualifizierte Erfassung und geordnete Verwertung von Elektro- und Elektronik-Schrott deutlich über den bisher für die Entsorgung der Geräte anfallenden Kosten liegen. Es muß demnach eine zusätzliche Finanzierungsquelle gefunden werden, wenn die Elektronik-Schrott-Verordnung erfolgreich umgesetzt werden soll. Unabhängig von der konkreten Form der Finanzierung, wird der Endverbraucher in jedem Fall die anfallenden Kosten zu tragen haben.

Eine Möglichkeit der Finanzierung besteht darin, daß der Letztbesitzer bei Abgabe (Bringsystem) oder bei Abholung (Holsystem) seines E-Gerätes die aktuellen Verwertungs- und Entsorgungskosten selbst trägt. Dieses Finanzierungsmodell stellt eine kostengünstige, unbürokratische und verursachergerechte Lösung zur Kostenübernahme durch den Letztbesitzer dar. Die Bemessung des Geldbetrages bereitet wenig Schwierigkeiten, da man zum Zeitpunkt der Abgabe die Kosten für die Verwertung und Entsorgung relativ genau beziffern kann.

Die generelle Internalisierung externer Kosten in den Verkaufspreis ist aus zahlreichen Gründen schwierig und wäre allenfalls bei Neugeräten nach Inkrafttreten der Elektronik-Schrott-Verordnung möglich. Denn infolge der langen Gebrauchsdauer der Elektro- und Elektronikgeräte scheint es praktisch unmöglich, ein Finanzierungssystem aufzubauen, bei dem der beim Verkauf des jeweiligen Gerätes erhobene Betrag unmittelbar zur Erfassung, Sammlung, Verwertung und Entsorgung dieses Gerätes verwendet wird, da dies eine Thesaurierung der Mittel über einen nicht genau abzugrenzenden Zeitraum bedingen würde. Außerdem ist es schwierig, bereits zum Zeitpunkt des Verkaufs des E-Gerätes exakt die zukünftigen Entsorgungskosten zu bestimmen. Zudem liegen wenig Kenntnisse in der Beurteilung der Aufnahmefähigkeit der Märkte für Sekundärrohstoffe und den tatsächlichen Kosten für ein solches System vor. Das trifft insbesondere für die Produktgruppe der Kleingeräte zu. Ferner gilt es zu bedenken, daß Geräte oder Fraktionen, für die heute scheinbar kein Markt existiert, in zig-Jahren gefragte Produkte oder wertvolle Rohstoffe sein können. Der umgekehrte Fall ist selbstverständlich ebenso möglich. Desweiteren verursachen die Internalisierung und Thesaurierung nicht unerhebliche Verwaltungskosten, die ohne Nutzen für die Umwelt sind. Wahrscheinlich müßte eine zentrale Organisation gegründet werden, die das thesaurierte Vermögen verwaltet. Dabei besteht die Gefahr, daß es zu einer Monopolisierung kommt. Bei diesem Konzept müßten dann noch steuerliche Fragen geklärt werden. Diese Finanzierungsform wird dem Ziel einer verursachergerechten Gebührenerhebung somit nicht gerecht.

Ferner ist an ein Europa der offenen Grenzen zu denken. Die Verbraucher können mehr oder weniger problemlos Waren und Güter ein- und ausführen. Es besteht bei diesem Fi-

finanzierungsmodell die realistische Gefahr, daß man sich bei einem Kauf im Ausland und anschließendem Import nach Deutschland der Entrichtung einer Verwertungsgebühr leicht entziehen kann. Die Folge können Wettbewerbsverzerrungen zugunsten der Trittbrettfahrer sein.

Dann wäre immer noch die Frage nach der Bewertung alter Geräte zu stellen. Die Elektronik-Schrott-Verordnung geht davon aus, daß ab Inkrafttreten der Verordnung alle Alt- und Neugeräte zurückgenommen werden sollen. Es wird sich allerdings rechtlich nicht durchsetzen lassen, daß man die Vertrieber und Produzenten zur kostenlosen Rücknahme von Altgeräten zwingen kann, die vor Inkrafttreten der Verordnung in den Markt gekommen sind. Für diese Altgeräte wird nur eine Bezahlung der anfallenden Kosten entweder direkt durch den Letztbesitzer oder die indirekte Bezahlung über die allgemeinen Müllgebühren möglich sein.

In Anbetracht der noch zahlreichen Unwägbarkeiten und Unsicherheiten im Vorfeld der geplanten Elektronik-Schrott-Verordnung ist es schwierig, Aussagen bzgl. den zu erwartenden Kosten zu treffen, die letztlich stets vom Einzelfall und seinen spezifischen Rahmenbedingungen abhängig sind. Legt man veröffentlichte (vgl. Töpfer-Studie, Mai 1993) und eigene Erhebungen für eine Kostenabschätzung zugrunde, dann ist von Kosten in nachstehenden Größenordnungen auszugehen:

Kleingeräte	2.500 - 5.000 DM/t
Großgeräte (weiße Ware)	1.000 - 1.500 DM/t
Großgeräte (braune Ware)	2.000 - 4.000 DM/t

Die Kostenschätzung umfaßt die Logistikkosten, die ein flächendeckendes Erfassungs- und Verwertungssystem mit sich bringen, sowie die Demontage-, Aufbereitungs-, Vermarktungs- und Entsorgungskosten. Die Erlöse aus dem Verkauf der Wertstoffe sind bereits berücksichtigt. Die Kostenschätzung geht davon aus, daß die Produktgruppe der Kleingeräte durch ein verbrauchernahes Logistiksystem erfaßt wird. Bei der Kostenschätzung für die Produktgruppe der Großgeräte (weiße und braune Ware) wird unterstellt, daß die Geräte entweder bei den Sammelstellen der Vertrieber oder Produzenten oder auf Abruf mit entsprechender Vorlaufzeit oder im Rahmen der Sperrmüllsammmlung oder in Analogie zur Schadstoffsammlung vom Endverbraucher abgeholt werden. Sollen die Geräte direkt und persönlich beim Letztbesitzer abgeholt werden, dann liegen die Gesamtkosten, aufgrund stark steigender Logistikkosten, wesentlich über den oben getroffenen Abschätzungen.

Wie bereits ausgeführt, hat die Finanzierung einen nicht unerheblichen Einfluß auf die Gestaltung der Technik. Die Technik hat wiederum Einfluß auf den Grad der Zielerreichung. Wenn man sich wünscht, daß vorgegebene Ziele größtmöglich erreicht werden sollen, dann muß man gedanklich den umgekehrten Weg gehen. Zur Erreichung gesetzter Ziele wird eine entsprechende Logistik- und Aufbereitungs-Technik benötigt. Gleichzeitig müssen die erforderlichen Vermarktungsstrukturen aufgebaut werden. Damit das gesamte System ordentlich funktioniert, muß es dauerhaft finanziert werden, und dazu ist ein entsprechendes Finanzierungssystem zu entwickeln und zu installieren.

Das bedeutet, daß die mülltonnengängigen Kleingeräte, um eine ungeordnete Verbringung auszuschließen, kostenlos zurückgenommen werden müssen. Die vielfältigen Erfahrungen aus der Vergangenheit lehren, daß nur wenige Endverbraucher bereit sein werden, für die geordnete Verwertung und Entsorgung direkt zu bezahlen. Für Großgeräte wird eine direkte Bezahlung eher durchsetzbar sein.

Wie wir bereits wissen, ermöglicht erst die aktive Beteiligung aller betroffenen Kreise die Lösung der gesamtgesellschaftlichen Aufgabenstellung. Um wirtschaftlich tragfähige Lösungen zu schaffen, muß daher eine branchenbezogene und branchenübergreifende Zusammenarbeit kartell- und wettbewerbsrechtlich möglich sein. Der Gesetz- und Verordnungsgeber hat hierzu die entsprechenden Voraussetzungen zu schaffen, ebenso wie die Einbindung in das geltende EG-Recht.

Unter Berücksichtigung dieser Ansatzpunkte werden sowohl die Herstellerindustrie als auch die private Entsorgungswirtschaft für eine gestufte Umsetzung der Elektronik-Schrott-Verordnung plädieren, bei der von unterschiedlichen Modalitäten für die einzelnen Gerätegruppen ausgegangen wird. Bei einer gestuften Umsetzung der Verordnung könnten auch die Kritikansätze wie bei der Verpackungsverordnung vermieden werden. Die Industrie hätte die notwendige Zeit, die erforderlichen Kapazitäten für die Erfassung, Sammlung, Demontage, Aufbereitung, Verwertung und Entsorgung aufzubauen und bereitzustellen.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. N. Evermann
c/o EDELHOFF AG & Co
Hegestück 20
58640 Iserlohn

Erfahrungen und Tendenzen bei der Sammlung und Aufbereitung von Computern

Dipl.-Ing. P. Burgdorf

Wiederverwendung und -verwertung: Recycling bei Siemens Nixdorf

Deponien und Müllverbrennungsanlagen müssen als ungeeignete Senken für ausgediente Elektro- und Elektronikgeräte angesehen werden. Künftig sollen darum Hersteller und Handel verpflichtet werden, Produkte dieser Art zurückzunehmen, sobald die Geräte ihren Dienst beim Kunden getan haben und nicht mehr benötigt werden. Mit der Elektronikschrott-Verordnung plant der Gesetzgeber nach bereits bestehenden Verordnungen zur Rücknahme von Altöl oder Verpackungen erstmals den Versuch, eine Rücknahmepflichtung für langlebige und komplexere Güter zu erlassen. Das Aufarbeitungs- und Recycling Center von Siemens Nixdorf arbeitet schon heute nach den Anforderungen der Elektronikschrott-Verordnung.

Auch wenn die Systeme der Datenverarbeitung hoch- und nachrüstbar und damit auf eine möglichst lange Lebensdauer ausgelegt sind - das "Ende eines Computers" läßt sich kaum vermeiden.

Experten beziffern die Menge des künftig in Deutschland zur Entsorgung anstehenden Elektro- und Elektronik-Schrotts mit etwa 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr. Den Löwenanteil davon bilden die "braune und weiße Ware" der Unterhaltungselektronik oder der Küchengeräteindustrie. Computer im weitesten Sinne machen mit weniger als acht Prozent quantitativ wie qualitativ nur einen sehr geringen Anteil am gesamten Elektro- und Elektronikschrott aus. Trotzdem wird in der aktuellen öffentlichen Diskussion die "E-Schrott-Verordnung" nicht selten begrifflich mit "Computer-Schrott-Verordnung" gleichgesetzt.

Sicher kann davon ausgegangen werden, daß die Menge des anfallenden Elektronikschrotts künftig deutlich ansteigen wird. In den vergangenen Jahren nahm die Nutzungsdauer von DV-Hardware kontinuierlich ab. Ein kurzfristiges Ende dieser Tendenz ist nicht abzusehen. Technologische Innovationen verkürzten die Lebensdauer der Hardware nahezu permanent. Lag die Erstnutzung von Computern in den 50' er Jahren noch durchschnittlich bei 10 Jahren, liegt sie heute durchschnittlich bei 5 Jahren und bei besonders innovativen Produkten in Einzelfällen bereits bei weniger als zwei Jahren. Die rasante Entwicklung der Leistungsfähigkeit von Personal Computern kann hier als Beispiel angeführt werden.

Siemens Nixdorf nimmt heute alle Altgeräte aus dem eigenen Sortiment zurück und zwar vom Personal Computer über Systeme der mittleren Datentechnik bis zu DV-Großanlagen oder Geldausgabeautomaten und anderen Spezialsystemen. Begonnen hat die Rücknahme von Altgeräten bereits am Anfang der 1980' er Jahre. Unter der ökologischen Perspektive der Abfallvermeidung und der Wertstoffverwertung wurde die Altgeräte-Rücknahme ab 1988 intensiviert. Im Geschäftsjahr 1992/93 wurden rund 3000 t/a

Altgeräte im zentralen Paderborner Recycling-Zentrum von Siemens Nixdorf angeliefert und verarbeitet. Das sind zirka 100% mehr als im vergangenen Geschäftsjahr und auch für das kommende Jahr wird mit einer erheblichen Steigerung gerechnet. Bereits 1995 rechnet die Siemens Nixdorf damit, jedes dritte vor einigen Jahren hergestellte Computersystem zurückzunehmen: ein jährliches Altgeräte-Aufkommen von dann über 5.000 Tonnen. Basis für diese Schätzung sind die fünf Jahre zuvor abgesetzten Mengen an neuer Siemens Nixdorf Hardware. Sollte die Elektronik-Schrott-Verordnung dann bereits wirksam umgesetzt sein, kann sich diese Menge dadurch deutlich erhöhen. Dieses Aufkommen verlangt ein strategisch durchdachtes Konzept sowie erprobte und bewährte Abläufe.

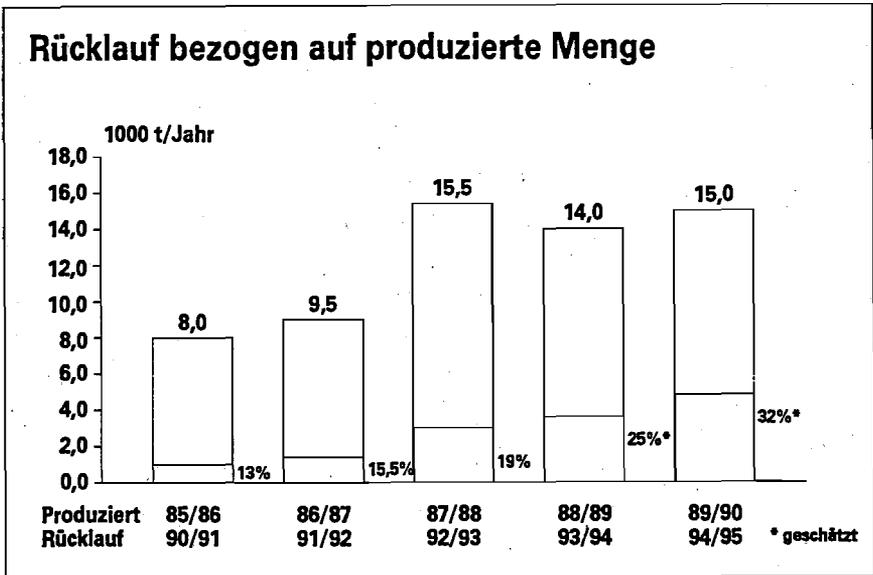


Abbildung 1: Produzierte Mengen und Rücklauf von Siemens Nixdorf Hardware

Das Aufarbeitungs- und Recycling-Zentrum von Siemens Nixdorf in Paderborn wurde jüngst als erstes seiner Art in Deutschland nach DIN ISO 9001 durch die Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Qualitätsmanagementsystemen (DQS) mit Erfolg überprüft. Das Zertifikat belegt, daß für alle Wiedervermarktungs- und Recycling-prozesse funktionsfähige Qualitätssicherungsmaßnahmen verfasst und umgesetzt wurden. Qualitätssicherung im Computerrecycling bei Siemens Nixdorf heißt, daß

- Recyclingverfahren zur Umsetzung einer recyclinggerechten Entwicklung und Konstruktion von neuen Geräten zurückgeführt werden in die Entwicklungsbereiche,
- Demontage und Sortierung der Stofffraktionen in eigener Regie erfolgen,
- ausgebildete Fachkräfte an den entscheidenden Arbeitsplätzen für Wiederverwendung und -verwertung eingesetzt sind, daß
- die konsequente Einhaltung von Umweltschutznormen sichergestellt ist und
- darüber hinausgehende Siemens Nixdorf Standards auch bei Recyclingpartnern eingehalten werden,
- Recycling nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten durchgeführt wird und damit nachhaltig durchführbar bleibt sowie
- eine Qualitätssicherung für wiedervermarktete Produkte nach den gleichen Standards wie für neue Produkte erfolgt.

Durch Qualitätssicherung im Recycling gewährleistet Siemens Nixdorf den ökologischen Erfolg und die wirtschaftliche Umsetzung von Wiederverwendungs- und -verwertungsmaßnahmen für Kunden und Umwelt.

Siemens Nixdorf bietet seinen Kunden heute ein vollständiges, erprobtes Rücknahmeprogramm für ausgediente Computer-Systeme an. Das Siemens Nixdorf Konzept "Abfallverminderung durch Wiederverwendung und -verwertung" wurde wirkungsvoll umgesetzt.

Recyclingkonzept

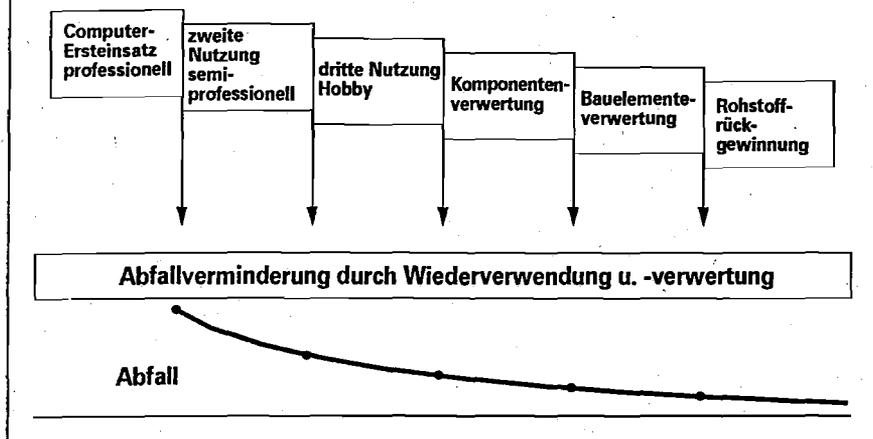


Abbildung 2: Das Recyclingkonzept von Siemens Nixdorf

Mit dem Ziel der Vermeidung und Verminderung von Abfällen setzen aktuell fast 70 Mitarbeiter im Paderborner Aufarbeitungs- und Recyclingzentrum von Siemens Nixdorf ein **Drei-Stufen-Konzept zur Rücknahme von Altgeräten** und zur Wiederverwendung bzw. Wiedereinbeziehung von Wertstoffen aus diesen Altgeräten in den Wirtschaftskreislauf um:

1. Stufe: Wiederverwendung von Geräten

Nach einer ersten Prüfung der Funktionalität entscheidet die Siemens Nixdorf-Niederlassung, ob ein vom Kunden zurückgegebenes Gerät ggf. nach einer Auf- oder Umrüstung als Gebrauchtgerät wieder vermarktet werden kann. Sieht die Niederlassung bei ihrem Kundenkreis keine Möglichkeit zum direkten Wiedereinsatz, wird das Gerät in das zentrale Aufarbeitungs- und Recyclingzentrum in Paderborn geschickt. Hier laufen alle Anfragen nach gebrauchten Siemens Nixdorf Systemen zusammen. Potentielle Kunden sind z.B. Anwender, die vergleichbare Maschinen einsetzen und die ihre EDV-Anlage teilweise viele Jahre nach der Vertriebeinstellung um bekannte Systemelemente erweitern möchten, ohne daß Investitionen in neue Software oder zusätzliche Mitarbeiterausbildung notwendig werden. Aber auch für Kunden, die nicht die neueste Technologie mit den heute realisierbaren Verarbeitungsgeschwindigkeiten benötigen

sondern auf bewährte Technik zu einem attraktiven Preis setzen, sind Produkte aus dem Siemens Nixdorf Wiedervermarktungs- und Recyclingcenter eine interessante Alternative. Der größte Teil der in Paderborn aufgearbeiteten Produkte geht diesen Weg.

Auch innerhalb von Siemens Nixdorf finden recycelte Produkte eine erneute Verwendung. Zudem interessieren sich viele Mitarbeiter der SNI für gebrauchte und geprüfte Hardware.

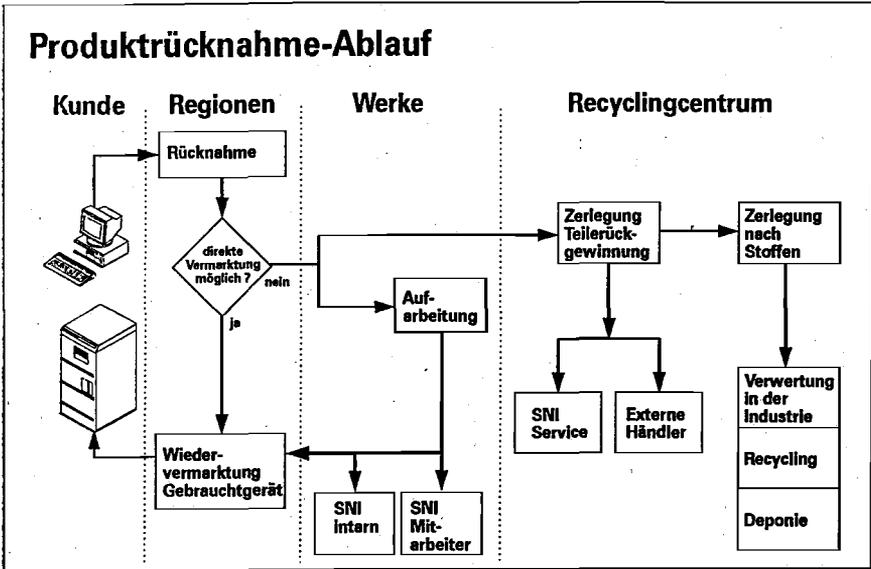


Abbildung 3: Ablauf von Produktrücknahme und Wiedervermarktung

Bild 3 skizziert die möglichen Wege gebrauchter Hardware vom Kunden über die regional tätigen Niederlassungen und über die Werke in das Recyclingzentrum und zurück zum Kunden: Produktrecycling geht vor Materialrecycling.

2. Stufe: Weiterverwendung von Komponenten

Kann ein komplettes Altgerät als ganzes System keiner zweiten Nutzung zugeführt werden, bauen Techniker einzelne **Komponenten** wie z.B. Netzteile, Lüfter oder Schalter aus. Für den technischen Service ergibt sich hier ein **Ersatzteillpool** zur Instandhaltung sehr alter Systeme. Auch hier gilt: alle **Komponenten** werden auf den aktuellen

technischen Stand gebracht und nach den Qualitätsanforderungen der Neuproduktion getestet.

Aufgearbeitete **Bauteile** und Systemkomponenten finden jedoch nicht nur im Rahmen der Instandhaltung oder Instandsetzung einen erneuten Einsatz. Insbesondere **Standardkomponenten** werden zunehmend von Unternehmen aus dem ehemaligen Ostblock aufgekauft, die diese ihrerseits zur Herstellung von Computersystemen verwenden.

Hochwertige elektronische **Bauelemente** wie z.B. Chips oder standardisierte Bauteile werden zudem über Fachhändler als "Second-Hand-Ware" vermarktet. Sie finden darüber hinaus bei der industriellen Fertigung elektronischer Standardkomponenten eine weitere Verwendung. In der eigenen Produktion neuer Hardware setzt Siemens Nixdorf jedoch grundsätzlich keine gebrauchten Komponenten oder Bauelemente ein.

3. Stufe: Erfassung von Sekundärrohstoffen

Erst nachdem alle Möglichkeiten einer Wieder- und Weiterverwendung von Systemen oder deren Elementen unter Beibehaltung der Funktionalität ausgeschöpft sind, werden die restlichen Altgeräte aktuell von gut 30 Monteuren manuell zerlegt. Ziel ist die stoffliche Verwertung von Wertstoffen als Sekundärrohstoffe; die Funktionalität wird aufgegeben, aber die originäre Materie bleibt erhalten.

Ziel der Demontage ist die Bildung möglichst sortenreiner Stoff-Fractionen. Bei DV-Hardware handelt es sich um komplexe technische Geräte. Entsprechend vielfältig sind die zu ihrer Herstellung verwendeten Materialien und Bauteile und entsprechend hoch sind die Anforderungen an eine fachgerechte Demontage. Zerlegt wird wegen der Differenziertheit der Produkte noch weitestgehend manuell. Teilautomatisierte Demontagen sind erst bei höheren Stückzahlen gleicher oder mindestens gleichartiger Altgeräte wirtschaftlich einsetzbar.

Je sortenreiner Stofffraktionen gebildet werden, desto eher lassen sich die Fraktionen wirtschaftlich vermarkten, desto höher sind jedoch auch die Kosten der Zerlegung. Zur Feststellung der optimalen Zerlettiefe hat das Siemens Nixdorf Recycling Center einen Analyseplatz eingerichtet. Für jedes erstmals zur Zerlegung eintreffende Gerät wird hier untersucht, mit welchem Aufwand sich welche Stofffraktionen gewinnen lassen. Die Entscheidung über die Zerlettiefe wird anhand ökologischer und ökonomischer Kriterien getroffen. So werden z.B. unabhängig von dem damit verbundenen Aufwand grundsätzlich alle separierbaren Schadstoffe im Rahmen der Zerlegung aus den Geräten entfernt.

Computerzerlegung in Stoff-Fractionen 1992/93

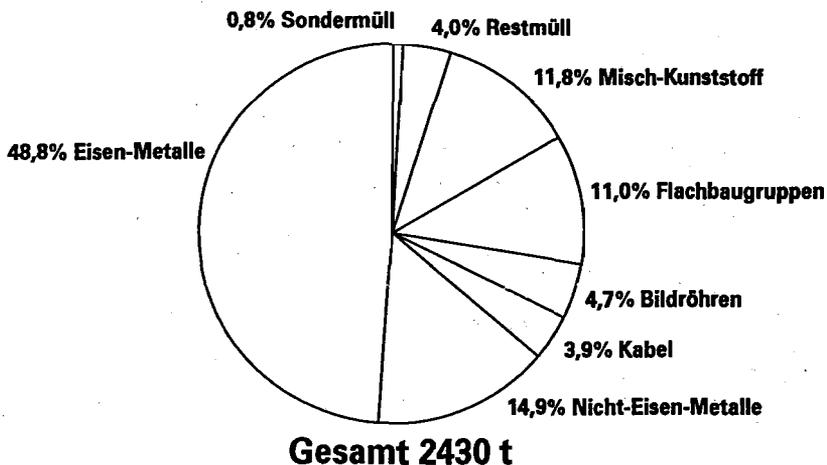


Abbildung 4: Computerzerlegung in Stofffraktionen 1992/93

Bild 4 zeigt die acht Hauptgruppen der Materialsortierung und gibt den jeweiligen Anteil am Gesamtaufkommen der Sekundärrohstoffe und Reststoffe an. Für jede dieser Gruppen bestehen spezifische Recycling- oder Behandlungsverfahren:

- ❑ **Geräteteile aus Eisen- und Nicht-eisen-Metallen** (z.B. Kupfer, Aluminium, Messing oder Zink) lassen sich nach ihrer Demontage über die traditionellen Wege der Schrottverarbeitung (Altmittelhandel, Hüttenbetriebe) vergleichsweise einfach in den Wirtschaftskreislauf zurückführen. Sortenreine Buntmetalle lassen sich mit Erlös vermarkten, für Stahlschrott ist heute bereits zuzuzahlen.
- ❑ Nach dem manuellen Ausbau werden **Bildröhren** belüftet. Das Auflösen des Vakuums schließt der Gefahr einer Implosion aus. Ablenkeinheiten werden abgebaut und an ein spezialisiertes Unternehmen übergeben, das die Bildröhre durch Erhitzen der Verbundnaht mit aufgeheiztem Spanndraht in das Frontglas einerseits und in das Konusglas andererseits trennt. Vom Barium-haltigen Frontglas wird die schadstoffhaltige pulverisierte Innenbeschichtung (Leuchtschicht, ca. 3 g) abgesaugt und der Sonderabfallentsorgung zugeführt. Das Frontglas kann so z.B. Eingang als Sekundärrohstoff in die Glasindustrie finden oder es bietet z.B. den Ausgangsstoff für die Herstellung von Magmavit, einem Marmorersatz. Das

Konuglas entzieht sich wegen hoher Bleianteile (bis zu 25%) z.Z. noch einer unmittelbaren Wiederverwertung. Eine Verwertung dieses Bleiglas zur Herstellung neuer Bildröhren sei, so die Hersteller von Bildröhren, im Moment noch mit zahlreichen Unwägbarkeiten verbunden. Das Konuglas der Bildröhren aus dem Siemens Nixdorf-Recyclingzentrum wird als Zuschlagstoff in die Bleiverhüttung gegeben, z.B. im Aufbereitungsprozess für Blei aus Akkumulatoren. So kann das Blei zu nahezu 100% sortenrein als leicht vermarktbare Wirtschaftsgut zurückgewonnen werden. Glasanteile verbleiben in der Schlacke, die als Baustoff z.B. für den Straßenbau Verwendung findet.

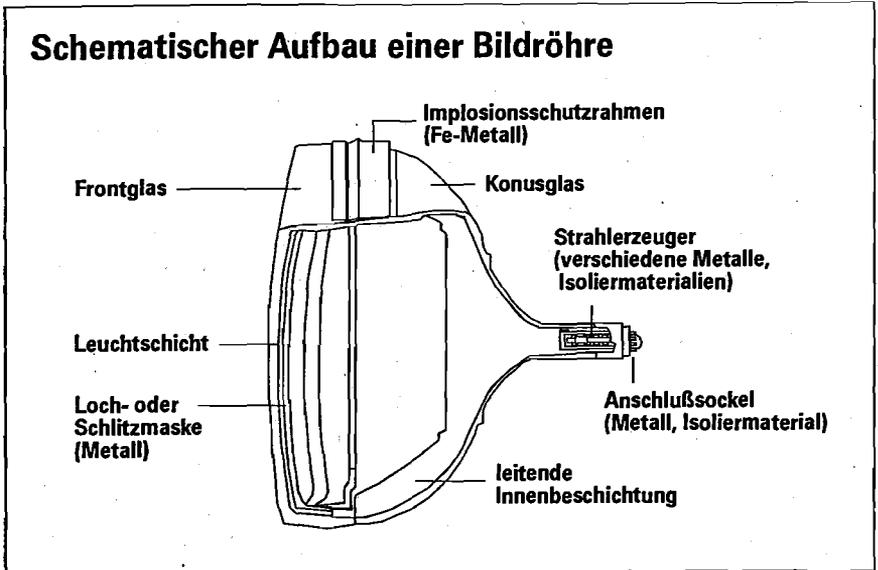


Abbildung 5: Schematischer Aufbau einer Bildröhre

- Beim **elektronischen Kleinschrott** handelt es sich im wesentlichen um bestückte Leiterplatten. Zunächst werden von der Leiterplatte vermarktbare Bauteile (Prozessoren, ICs etc.) entnommen. Ebenso werden schadstoffhaltige Bauteile wie z.B. Batterien und Kondensatoren grundsätzlich von der Leiterplatte entfernt und sodann spezifisch entsorgt. Die solchermaßen Schadstoff- und Wertstoffentfrachtete Leiterplatte wird von externen, spezialisierten Unternehmen mechanisch zerkleinert. Dieses Mahlgut wird z.B. mit elektrostatischem Verfahren in seine Kunststoffteile einerseits und seine Metallteile andererseits getrennt. Das Metallgranulat läßt sich metallurgisch in reine (Edel-) Metalle weiter aufteilen. Die ver-

bleibenden sehr unterschiedlichen Kunststoffe entziehen sich gegenwärtig noch einem Recycling. Bei Metallen kann mit dieser Recycling-Technologie ein Reinheitsgrad von 98% erreicht werden. Bewußt wird z.Zt. auf thermische Verfahren bei der Entsorgung von elektronischem Kleinschrott verzichtet.

Elektrostatische Trennung Kunststoff-Metall

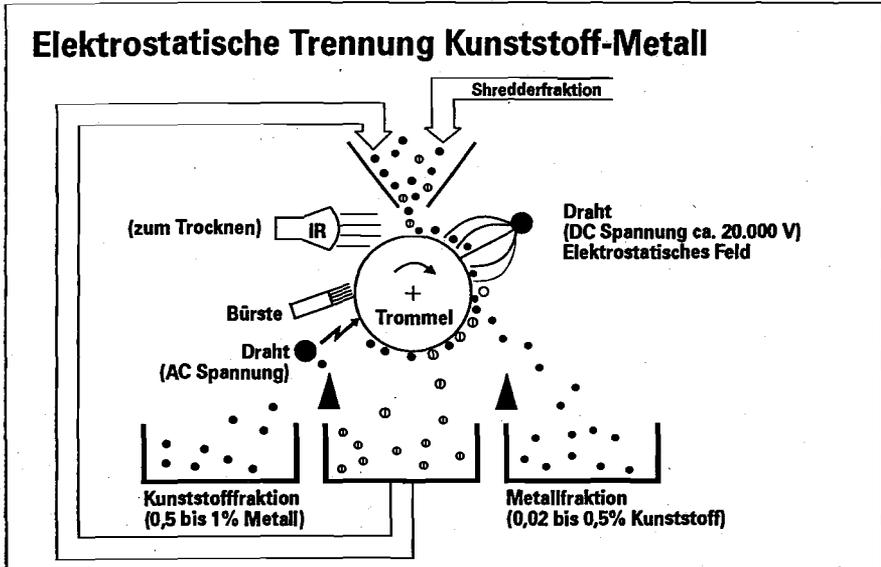


Abbildung 6: Elektrostatische Trennung Kunststoff - Metall

- **Kabel und Leitungen** werden von Entisolierungsbetrieben abgenommen: nach Schreddern und Mahlen werden die Metalle (mehrheitlich Kupfer) zurückgewonnen. Die aus vielen Kunststoffarten mit den unterschiedlichsten Zusätzen bestehenden Kabelummantelungen müssen deponiert werden.
- Nicht gekennzeichnete und darum nicht sortenrein zu erfassende **Kunststoffe** sind das aktuelle "Recycling-Sorgenkind"; ein geschlossener Recyclingkreislauf für alle Kunststoffarten ist heute noch nicht in Sicht. Die Kunststoffteile machen immerhin fast 17% der Gesamttonnage an zurückgenommenen Altgeräten aus. In enger Zusammenarbeit mit der Kunststoffindustrie und mit Forschungseinrichtungen bemüht sich Siemens Nixdorf gegenwärtig in Pilotprojekten um eine Regranulierung dieser Alt-Kunststoffe und um den Wiedereinsatz der Sekundär-Granulate. Das heute vielfach praktizierte "Down-Cycling" höherwertiger Kunststoffe für Parkbänke, Lärmschutzwände oder Gartenkomposter kann keine langfristig zufriedenstellende Lösung sein. Ziel muß es sein, alle Kunststoffteile bei der Neuproduktion zu

kennzeichnen. Aus dann sortenrein erfaßten Kunststoffteilen lassen sich Re-Granulate gewinnen, die eine Herstellung qualitativ hochwertiger Produkte ermöglichen. Die Frage der notwendigen Kennzeichnung von Kunststoffteilen als Voraussetzung ihrer Sortierbarkeit wird weiter unten nochmals aufgegriffen.

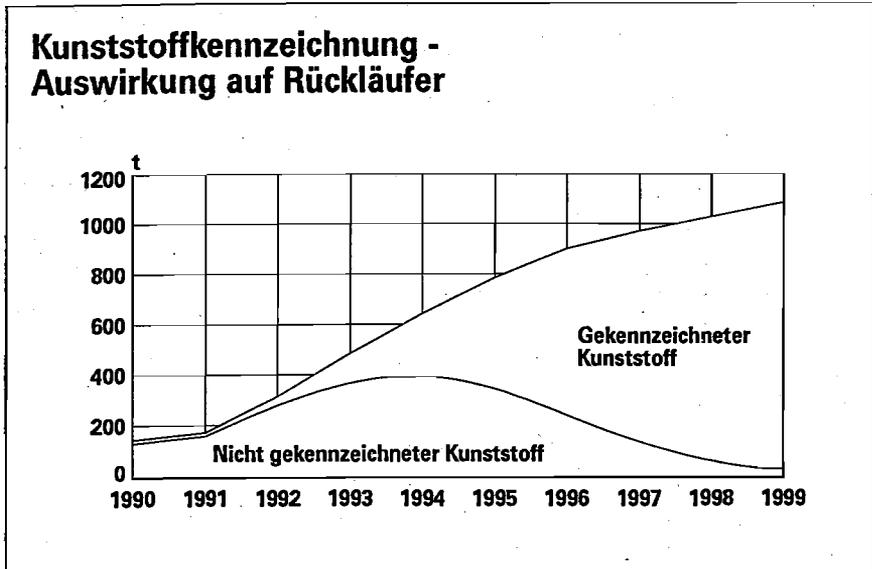


Abbildung 7: Kunststoffkennzeichnung - Auswirkungen auf Rückläufer

- Batterien und Kondensatoren** werden heute mehrheitlich als Überwachungsbedürftiger Abfall der Sonderabfallentsorgung zugeführt; einige Batterien können aufgearbeitet werden, z.B. Nickel Cadmium Batterien oder Blei Akkus.
- Der Anteil von weniger als 5% Restmüll kann als hausmüllähnlicher Gewerbeabfall auf einer Hausmüldeponie abgelagert werden.
- Verpackungsmaterialien** werden nach den Packstoffen Kartonagen, Altpapier, Holz, Styropor etc. getrennt gesammelt und über Fachbetriebe in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt.

Die Demontage-, Vermarktungs- und Entsorgungs-Praxis der vergangenen 10 Jahre führte zu einer Unterteilung dieser acht Hauptgruppen in insgesamt mehr als 50 verschiedene Einzelfraktionen. Alle Abnehmer dieser Wert- und Reststoffe werden nach einem Siemens Nixdorf-internen Kriterienkatalog auditiert.

Etwa 85 % der Materialien eines vor 5 Jahren hergestellten Personal Computers verbleiben gegenwärtig nach Demontage und Sortierung als Sekundärrohstoff im Wirtschaftskreislauf. Vor 5 Jahren lag dieser Recycling-Anteil mit gut 30 % noch deutlich niedriger: immer neue Erfahrungen in der Demontagetiefe und neue Kenntnisse in der Transparenz der Sekundärrohstoffmärkte ließen die Recyclingquote ständig ansteigen. Mit Blick auf die Zukunft hat sich das Siemens Nixdorf-Recyclingzentrum das Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2000 mehr als 90 Gewichtsprozent eines Computers als Sekundärrohstoff im Wirtschaftskreislauf verfügbar zu halten. Nur weniger als 10 % des Computerschrotts sollen dann als nicht verwertbarer Rest entsorgt werden müssen. Dieses Ziel ist nur dann zu erreichen, wenn bereits heute in Produktdesign, Konstruktion und in Fertigung die Grundlagen dafür gelegt werden.

In Bild 8 ist zusammenfassend veranschaulicht, wie sich in den vergangenen Jahren die Wiederverwendungs- und -verwertungsaktivitäten von Siemens Nixdorf auf das Rest- und Sondermüllaufkommen ausgewirkt haben.

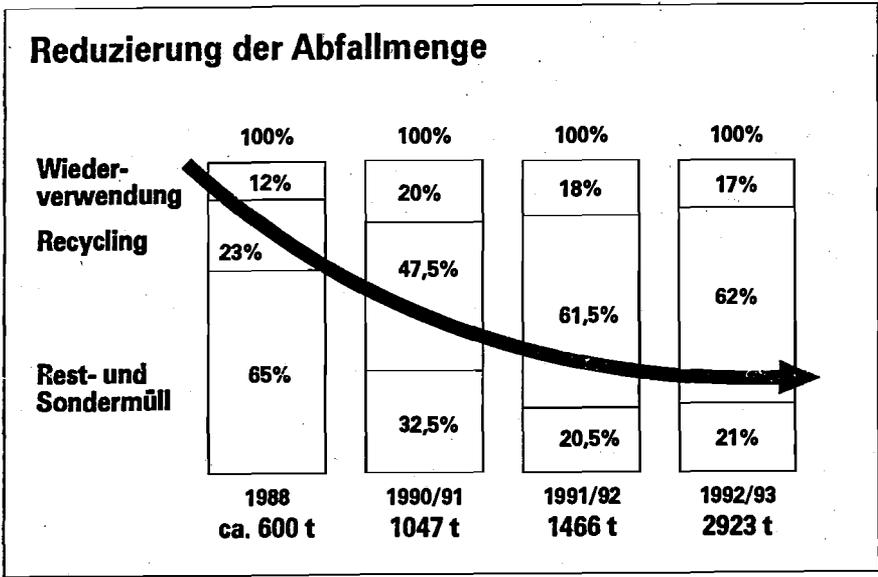


Abbildung 8: Reduzierung der Abfallmenge

Kosten des Altgeräte-Recycling

Computer-Demontage ist heute längst keine "Goldgrube" mehr; je nach Komplexität des Gerätes fallen Demontage-, Verwertungs- oder Entsorgungskosten in unterschiedlicher Höhe an. Durch den Preisverfall auf den Sekundärrohstoffmärkten können die Erlöse aus dem Wertstoffverkauf die Kosten für Logistik, Demontage und Entsorgung heute bei weitem nicht mehr kompensieren. Die nur kostendeckend kalkulierten Rücknahmepreise für SNI-Hardware reichen von 50,- DM bei Kleinstgeräten bis zu 4.300,- DM für große Mainframe-Systeme, die mehrere Tonnen wiegen. Die Entsorgungskosten wurden unter Berücksichtigung der notwendigen Demontagezeiten sowie der Entsorgungsbeiträge für die verschiedenen Fraktionen für jeden Gerätetyp spezifisch kalkuliert.

Produktverantwortung von "der Wiege bis zur Bahre"

Ein Grund für das Engagement der SNI beim Altgeräte-Recycling im eigenen Unternehmen liegt in den kurzen Informations-Wegen zwischen Zerlegung und Recycling einerseits und Produktdesign bzw. Konstruktion andererseits. Großer Wert wird auf die Rückmeldung von Demontage- und Sortierungserfahrungen in die Entwicklung neuer Rechner gelegt. Diese Aufgabe übernehmen ausgewiesene Experten, ergänzt um Arbeitskreise, die für eine Verbreitung des Gedankengutes zum recyclinggerechten Konstruieren und Fertigen im gesamten Unternehmen sorgen. Bereits bei der Geräte-Konstruktion werden die Weichen für den Aufwand gestellt, der später beim Demontieren und Sortieren zu leisten ist.

Systemkonstruktion und die Auswahl der Materialien bestimmen, ob ein Gerät umweltverträglich genutzt und vor allem umweltschonend entsorgt werden kann. Die Siemens Nixdorf-Konstrukteure von DV-Hardware orientieren sich hier an unternehmensspezifischen Umweltschutz-Standards für die Entwicklung service-, demontage- und recyclinggerechter Produkte, die über die allgemein gültigen Konstruktionsrichtlinien hinausgehen. Umweltschutz ist hier expliziter Bestandteil des "Prozesses für die Entwicklung von Hardwareprodukten".

Einige, mit nachgewiesenem Entlastungseffekt bereits realisierte Beispiele sollen die Bemühungen um recyclinggerechtes Konstruieren verdeutlichen:

- Kunststoffe werden nach einer SNI-internen "ökologischen Kunststoffdatenbank" bewertet. Diese Auswahlliste priorisiert verschiedene Kunststoffarten nach ihrem Umweltverhalten und zwar nach den Kriterien "Öko-Relevanz von Kunststoff-Additiven" oder "Recyclierbarkeit des Kunststoffes".
- Kunststoffteile sind heute zudem nach Art und Zusätzen gekennzeichnet. Zum Einsatz kommen nur halogenfreie Thermoplaste, weil diese recycelbar sind. Die Anzahl der verwendeten Kunststoffarten wurde drastisch reduziert. Zudem wird heute auf eine Lackierung bzw. Beschichtung von Kunststoffen verzichtet.
- Eine Konzentration auf möglichst wenige sortenreine Metalle fördert das spätere Recycling dieser Materialien.
- Lüfter in UNIX-Systemen wurden z.B. früher mehrheitlich genietet; heute werden sie per Klips-Technik befestigt: eine montage-, service- und gleichzeitig demontagegerechte Lösung und zwar sowohl ökonomisch wie ökologisch.
- In neueren Entwicklungen wird das Punktschweißen, das etwa Metallteile fast unlösbar miteinander verbindet, durch das "Druckfügen" abgelöst. Neben ökologischen Vorteilen im Fertigungsprozess (Energieeinsparung, Emissionsminderung etc.) können durch "Druckfügen" hergestellte Verbindungen gelöst werden.

Mit Blick auf einen sparsamen Umgang mit Energie und Rohstoffen sowie auf das Vermeiden von Abfällen ist aus ökologischer Perspektive die Tendenz zu kleineren Geräten in allen Phasen des Lebenszyklusses eines EDV-Systems zu begrüßen. Der technische Fortschritt führte zu einer drastischen Reduktion des Volumens von DV-Anlagen und dies parallel zu einer merklichen Qualitätssteigerung der einzelnen Bauelemente. Bei einer vergleichbaren Funktionalität und Leistungsfähigkeit des Systems wäre ein vor einigen Jahren ausgeliefertes DV-System deutlich größer ausgefallen als heutige Systeme. Technischer Fortschritt kommt hier den Zielen des Umweltschutzes hinsichtlich Energie- und Rohstoffeinsparung entgegen.

Zielvorstellung: Der geschlossene Materialkreislauf

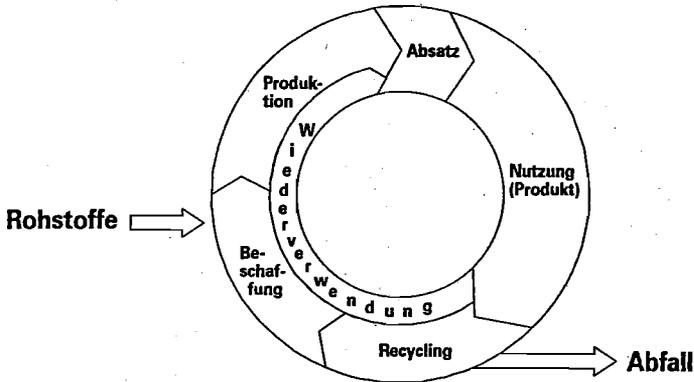


Abbildung 9: Zielvorstellung: Der geschlossene Materialkreislauf

Verantwortliches Handeln gegenüber der natürlichen Umwelt beginnt bei Siemens Nixdorf bei der Entwicklung von Produkten und setzt sich in der Fertigungsphase fort. Umweltschutz wird aber auch in der Betreuung und Unterstützung während der Nutzungsphase von DV-Systemen praktiziert. Mit den beschriebenen Recycling-Aktivitäten in der Nach-Nutzungsphase von SNI-Produkten komplettieren sich die ökologischen Anstrengungen des Unternehmens zu einem ganzheitlichen, vorausschauenden und integrierten Umweltschutz-Konzept.

Ansprechpartner für die Recyclingaktivitäten der Siemens Nixdorf Informationssysteme AG:

SU MR RR

Frankfurter Weg 60

33106 Paderborn

☎ (0 52 51) 72 08-10

Fax: (0 52 51) 72 08-15

Sammlung und Verwertung von Elektrogeräten durch einen Hersteller

Rolf Maas
BRAUN AG Kronberg

Einleitung

Seit über drei Jahren befinden wir uns in der Diskussion zum Thema "Recycling". Bis heute sind die entsprechenden Gesetze und Verordnungen nicht vollständig ausformuliert. Dies ist der Grund warum wir, wie eine Reihe namhafter Firmen, eigene Aktivitäten entwickelt haben.

War der Umweltgedanke schon immer fest in der Philosophie von Braun verankert, so ist er heute erklärtes Unternehmensziel. Der Umweltschutz wurde als verbindliche Qualitätsnorm in der Qualitätsrichtlinie für Braun Produkte festgeschrieben und konsequent umgesetzt.

SAMMLUNG

Braun als Elektro-Kleingerätehersteller produziert mit über 9.000 Mitarbeitern in 6 Werken ca. 30.000 Tonnen Elektrogeräte. Auf Deutschland fallen mit über 7,5 Mio Einheiten fast 5.000 Tonnen an. Das Produktgewicht liegt zwischen 30 Gramm und 10 kg. Im Vergleich zum Gesamtaufkommen von 1,5 Mio Tonnen der Elektroindustrie beträgt unser Anteil ca. 0,3 Prozent.

Neben Transport und Lagerschäden betrug das bisherige Aufkommen mit dem Kundendienst als Hauptlieferant ca. 60 - 70 Tonnen pro Jahr. Enthalten sind hier auch Marketing-Aktionen wie z.B. "Alt gegen Neu". In der bisherigen Praxis wurden Austauschteile entweder von Händlern über Kundendienststellen über Hausmüll entsorgt oder unserem Zentralen Kundendienst zugeführt. Shredderfirmen, deren Anlagen vorrangig für großvolumige Teile konzipiert waren, wurden dann von uns mit der Entsorgung beauftragt. Der Anteil der verwertbaren Komponenten war außerordentlich gering, da keine Vorsortierung stattfand. Die Geräte wurden einschließlich Verpackung entsorgt.

VERWERTUNG

Steigende Anforderungen der Verwerterbetriebe und Preisanpassungen führten dazu, daß bei einigen Geräten Schadstoffe wie z.B. Akkus und Gaskartuschen entfernt werden mußten. Diese Maßnahmen erfolgten zuvor in Zusammenarbeit mit externen Firmen.

Pilotprojekt

1991 wurden im Rahmen eines Pilotprojektes 6.000 Bügeleisen, 9.500 Kaffeemaschinen und 135.000 elektrische Zahnbürsten demontiert. Parallel zu diesem Projekt wurde mit der Aufbereitung von Geräten aus Lager- und Transportschäden begonnen. Damit wurde ein Teil des Konzeptes verwirklicht, daß die angelieferten Geräte dort verwertet werden, wo sie ursprünglich konzipiert und produziert wurden. Dort stehen Experten zur Verfügung, die sich allerdings, wenn auch nur schrittweise, einem Umdenkprozeß unterziehen müssen. Es sei am Rande vermerkt, daß mit diesen Arbeiten eine hohe Wertschöpfung erzielt wird.

Das Pilotprojekt war auf ein Jahr begrenzt und hatte folgende Ziele:

- * **Manuelle Demontage**
- * **Schadstoffentfrachtung**
 - Quecksilber
 - Gaskartuschen
 - Nickel-Cadmium-Akkus
 - Bestückte Leiterplatten
- * **Fraktionieren**
 - FE-Metalle
 - Kunststoffe
 - Kupfer
 - Papier, Pappe
- * **Volumenreduzierung**
- * **Wiedergewinnung von Bauteilen mit hoher Wertschöpfung**
 - Pumpen
 - Tanks
 - Heizung
 - Schalter
- * **Umweltgerechte Entsorgung**
- * **Durchführung von Arbeitszeitstudien**
- * **Empfehlung für künftiges Vorgehen**
- * **Betreuung durch zentrales Engineering**

Ein Abschlußbericht wurde im Sommer 1992 erstellt.

Begleitende Maßnahmen

Parallel wurden auch extern mehrere begleitende Untersuchungen im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten sowie Praktika durchgeführt.

Zusammen mit einer Reihe namhafter Firmen beteiligte sich die Braun AG 1993 an einem Modell-Versuch in Nordrhein-Westfalen. Der Versuch hatte das Ziel, in einer bestimmten Region Elektrokleingeräte zu sammeln, und zwar von Händlern und Verbrauchern. Wegen des geringen Aufkommens von ca. 4 Tonnen beschränkte sich die Auswertung nur auf wenige Geräte. Die Ergebnisse sind noch nicht vollständig ausgewertet. Der Abschlußbericht liegt noch nicht vor.

Durch Mitarbeit im ZVEI (Zentralverband der Elektrotechnischen Industrie) hat man aktiv an der Diskussion mit den Verbänden und dem Ministerium mitgewirkt.

Recycling-Zentrum

Verstärkt durch Forderungen hausinterner Fachabteilungen, eigene Aktivitäten zu entwickeln, führten die Empfehlungen des Pilotprojektes zur Entscheidung, im Herbst 92 ein eigenes Recycling-Zentrum zu etablieren. Die angelieferten Produkte wurden in folgende Hauptgruppen unterteilt:

- * Uhren
- * Zahnbürsten
- * Kaffeemaschinen
- * Haartrockner
- * Bügeleisen
- * Rasierer
- * Kunststoffe
- * Schrott (Wertstoffe)
- * Gemisch

In der ersten Stufe sollten innerhalb der gesetzlichen Bestimmungen ökonomisch/ökologische Alternativen von Verwertungstechnologien entwickelt und umgesetzt werden.

Ausstattung

Personal	Zwei Mitarbeiter
Raum	ca. 600 qm
Sachkosten	150.000 DM
Entsorgung	80.000 DM

Programmablauf

Nach verschiedenen Vorbereitungen wurde im März mit gezielten Aufzeichnungen begonnen. Im wesentlichen entsprechen die Arbeitsinhalte den Empfehlungen aus dem Abschlußbericht der Pilotstudie, jedoch ohne Demontage bzw. Wiederverwendung von Baugruppen und -teilen. In den ersten sieben Monaten wurden im Recycling-Zentrum ca. 84 Tonnen Geräte und sonstige Teile angeliefert. Die Hauptaufgaben im Tagesablauf sind:

- * Kontrolle der Anlieferung
- * Kabelabtrennung
- * Sortieren nach Gerätetypen
- * Schadstoffentfrachtung
- * Wertstofftrennung
- * Bereitstellung zur Weiterverarbeitung
- * Versand zur Entsorgung
- * Administrative Arbeiten

Als Sonderaufgaben wurden schwerpunktmäßig durchgeführt:

- * Granulieren von Föngehäusen
- * Demontage von Uhren
- * Zerlegeversuche bei Drittfirmen
- * Volumenreduzierung von Kunststoffgehäusen

Eigene Maßnahmen

Interne Normen für die Konstruktion und Gestaltung, sowie die Kennzeichnung recycling-gerechter Produkte wurden weiterentwickelt. Werknormen wurden erstellt für:

- * Recyclate
- * Kennzeichnung von Kunststoffen

* Kennzeichnung von Verpackungstoffen

Eine interne Arbeitsgruppe befaßt sich mit Vorschlägen, die in einen Maßnahmenkatalog aufgenommen wurden. Dieser enthält unter anderem folgende Punkte:

- * Einsatz umweltverträglicher Materialien
- * Reduzierung der Kunststoff-Vielfalt
- * Wiederverwendung von Teilen und Baugruppen
- * Erhöhung der Reparaturfreundlichkeit
- * Austausch im KD durch umweltschonende Ersatzteile
- * Änderung der Montagetechniken
- * Qualitätsuntersuchungen von Kunststoffen

Die Einsatzgebiete für die aufbereiteten Kunststoffe aus gebrauchten Geräten sind sehr beschränkt. Diese hochwertigen Stoffe sind für viele unserer Produkte, die dem Lebensmittelbedarfsgegenstände-Gesetz (LMBG) unterliegen, nicht zugelassen. Aus diesem Grunde beschränken wir den Einsatz in der Regel auf Produkte, die nicht diesem Gesetz unterliegen.

Erfolgreich wurden bis jetzt Recyclate für den Messerschutz von Zubehörteilen und Gebläsegehäuse für Küchengeräte eingesetzt.

Entsorgungskosten

Die Gesamtkosten betragen bei einem Volumen von 140 Jahrestonnen ca. 2.300 DM/Tonne. Die Kosten für die Deponie liegen bei ca. 600 DM/Tonne. Der Erlös ist mit 20 DM/Tonne zu vernachlässigen.

Die Bandbreite der Angebote von Verwerterfirmen liegen zwischen 600 und 1.500 DM/Tonne. Zur Zeit stehen wir in Verhandlungen mit Firmen, die wir im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Zertifizierung prüfen.

Die Vorsortierung nach Gerätetypen erfolgt durch eigene Mitarbeiter.

AUSBLICK

Die Hauptaufgabe des Recycling-Zentrums besteht heute hauptsächlich darin, Erkenntnisse über Anfallorte und -mengen unserer Elektrogeräte zu gewinnen und sicherzustellen, daß eine Verwertung und ordnungsgemäße Entsorgung erfolgt. Die bisherigen Erfahrungen haben ge-

zeigt, daß die augenblickliche Verfahrensweise sich unter ökonomisch / ökologischer Betrachtung im vertretbaren Rahmen hält. Zunehmend entstehen auf der Verwerterseite kompetente Firmen, die bereit sind, auf unsere Wünsche einzugehen und mit unseren Ingenieuren zusammenzuarbeiten, um nach geeigneten Recyclingverfahren zu suchen. Wir stehen zu unserer Produktverantwortung und nutzen unser Know-How, um aus der gegebenen Situation weitere wichtige Erkenntnisse zu ziehen. Wir werden unsere Bemühungen intensivieren, möglichst viele Geräte dem Recycling-Zentrum zuzuführen. Dabei liegt unser Hauptaugenmerk auf unseren eigenen Kundendienststellen. Betrug das Aufkommen 1990 noch 60 Tonnen, gehen wir in den nächsten Jahren von höheren Zuwachsraten aus. Nach unseren Schätzungen rechnen wir 1995 mit ca. 500 Jahrestonnen.

Braun wird weiterhin das vom ZVEI angestrebte Pool-System einer Branchenlösung unterstützen und sich auch an dem geplanten Feldversuch in 1994 beteiligen.

ZUSAMMENFASSUNG

Als Elektrogeräte-Hersteller blicken wir auf eine mehr als 3-jährige Erfahrung in der umweltgerechten Entsorgung zurück. Die daraus gewonnenen umfangreichen Kenntnisse konnten vielfach schon für neue Produkte angewandt werden. Bis die vom Gesetzgeber geforderten Maßnahmen zum Tragen kommen, werden wohl noch einige Monate vergehen. Bis dahin werden wir die begonnenen Aktivitäten verstärkt ausbauen.

Unter der Annahme, daß die Elektronikschrottverordnung in Kraft ist und bei einem Verkaufsvolumen von 5.000 Jahrestonnen rechnen wir mit einer Rücklaufquote von 40 - 50 %. Steigende Komplexität und hohe Anforderungen an Elektro- und Elektronikgeräte lassen einen Tonnenpreis von DM 3.000,- realistisch erscheinen. Somit liegen die Kosten für das zu verwertende Potential bei ca. 7 Millionen DM jährlich für die Braun AG.

Sammlung und Verwertung

Chronologie

- * Bis 1988 Shredderanlage
- * Ab 1989 Entfernen von Schadstoffen
Akkus, Kartuschen, Quecksilber
- * Ab 1991 Pilotprojekt
Bügeleisen, Zahnbürsten, Kaffemaschinen
- * Ab 1992 Recycling-Zentrum
Zentrale Anlieferstelle

Pilotprojekt 1991

Mengenbilanz

6.000 Bügeleisen	8 Tonnen
9.500 Kaffeemaschinen	13 Tonnen
135.000 Zahnbürsten	6 Tonnen

Metalle	7 Tonnen
K`stoffe	7 Tonnen
K`sort.	3 Tonnen
Akkus	4 Tonnen
Shredder	6 Tonnen

Summe 27 Tonnen

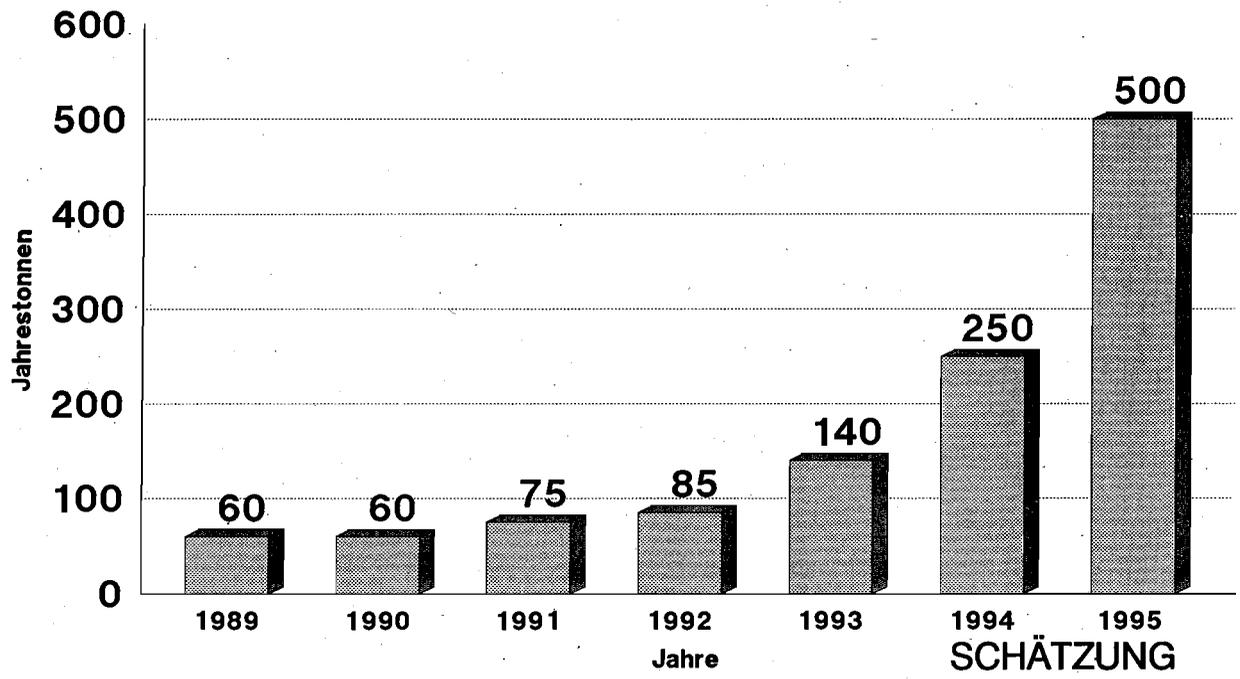
Recycling Zentrum

Arbeitsinhalte

- * Kontrolle der Anlieferung
- * Sortieren nach Gerätetypen
- * Kabelabtrennung
- * Schadstoffentfrachtung
- * Wertstofftrennung
- * Versand zur Entsorgung
- * Administrative Arbeiten

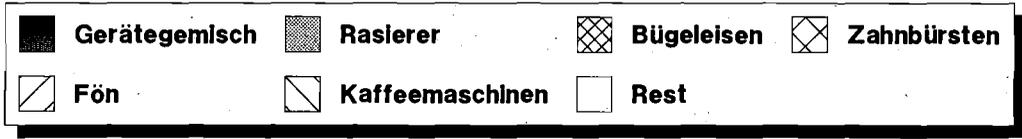
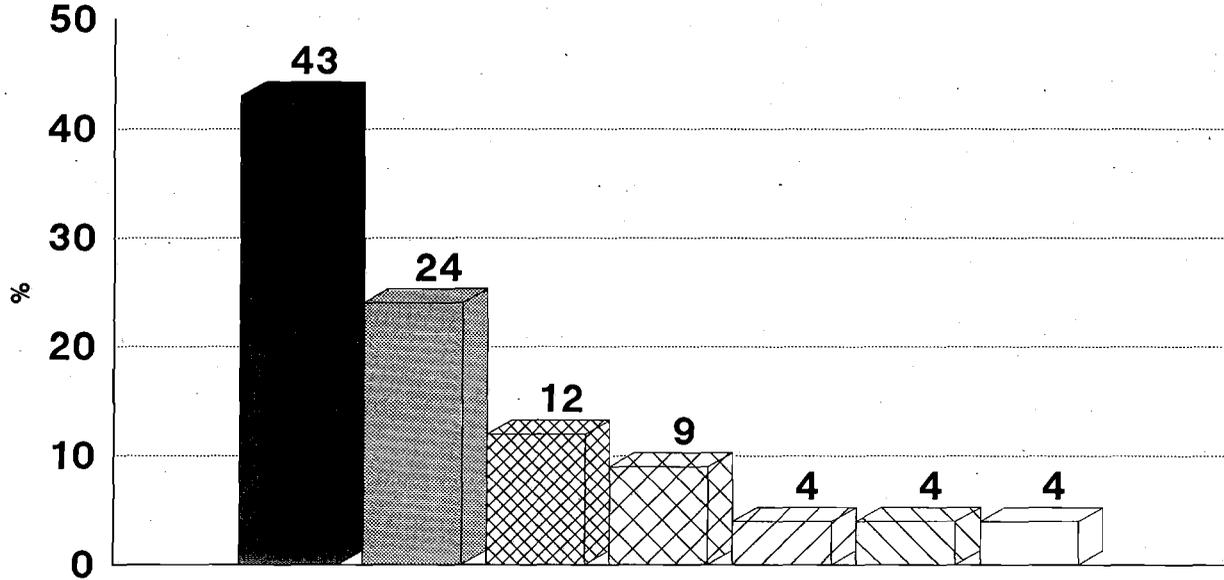
Recycling Zentrum

Aufkommen Elektronikschrott

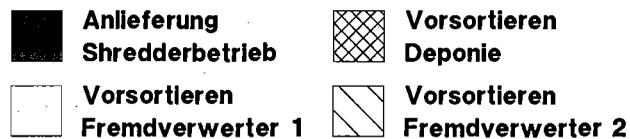
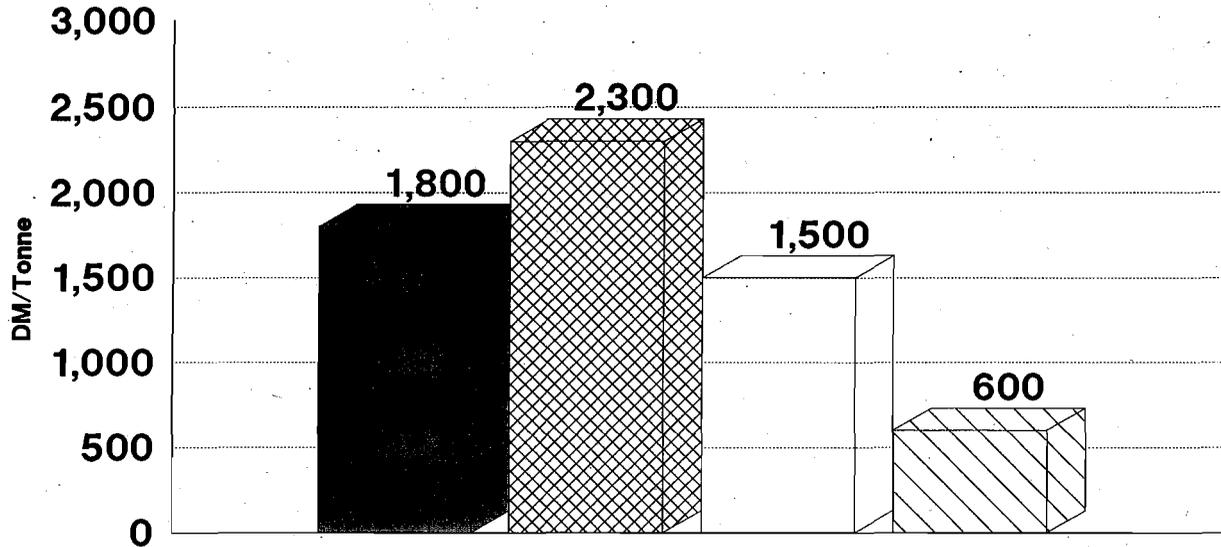


Recycling Zentrum 1993

Kategorien



Recycling Zentrum Stand 10/93 Entsorgungskosten



Zerlegung von Elektro- und Elektronikgeräten

Erfahrungen aus einem Modellversuch

Jochen Schiemann

Einleitung

Alte Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte und Apparate der Datenverarbeitung wurden bislang in großer Stückzahl unbehandelt auf Mülldeponien oder in Verbrennungsanlagen entsorgt.

In solchen Geräten sind sowohl Wertstoffe als auch Materialien mit einem Gefährdungspotential enthalten.

Um wertvolle Rohstoffrecourcen zu schonen, Müllvolumen zu reduzieren und die Belastung der Umwelt durch unsachgemäße Entsorgungsbehandlungen zu vermeiden, plant der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit eine "Elektronik-Schrott-Verordnung".

Zum Zeitpunkt der Entwurfsveröffentlichung gab es kein Unternehmen in Deutschland, welches eine umfassende Behandlung von Altgeräten anbieten konnte. Lediglich für einzelne Komponenten (z.B. Computerplatinen aus den Jahren 1965-1975) deren Inhaltsstoffe profitabel recycelt werden konnte gab es vereinzelte lokale Entsorgungsunternehmen.

Da im Bereich Elektronikschrottaufarbeitung keinerlei Erfahrungswerte vorlagen, waren Erkenntnisse und Verfahrensentwicklungen nur aufgrund von Feldversuchen zu erlangen. Die Thyssen-Entsorgungstechnik GmbH beauftragte 1991 das Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik e.V. mit einem Modellversuch. Wert- und Schadstoffgehalte, Gefährdungspotentiale, Aufbereitungsverfahren für Einzelfractionen, usw. sollten ermittelt werden.

Um ein möglichst großes Spektrum an Altgeräten in die Untersuchung einzubeziehen, wurden verschiedene Möglichkeiten der Gerätebeschaffung realisiert. Es sind zwei Einsatzbereiche der Apparate unterschieden worden.

- a) Geräte, die überwiegend in Privathaushalten genutzt werden
- b) Geräte, die überwiegend in gewerblichen Betrieben genutzt werden

Um eine ausreichende Menge aus beiden Bereichen zu bekommen, mußten erst geeignete Wege geschaffen werden, da eine Sammellogistik zu dieser Zeit noch nicht existierte.

Gerätesammlung in Essen

In zunehmendem Maße werden durch die kommunalen Fuhrämter sogenannte Recyclinghöfe errichtet, um den Bürgern die Möglichkeit zu geben, wertstoffhaltigen und problem-behafteten Abfall auf geeignete Weise entsorgen zu lassen. Dort werden Papier, Pappe, Aluminium und FE-Schrott gesammelt und einer Wiederverwertung zugeführt. Batterien, Lacke und Lösungsmittel, Leuchtstoffröhren, Reifen, Kühlschränke, Nachtspeicheröfen, Sperrmüll und Bauschutt werden getrennt angenommen und der jeweiligen Entsorgung zugeführt.

Aufgrund der Bevölkerungsdichte und -struktur wurde für die Beschaffung einer repräsentativen Menge elektronischer Altgeräte aus privaten Haushalten der Recyclinghof Essen ausgewählt. Die Bevölkerung wurde durch Wurfzettel und Presseveröffentlichungen aufgerufen, entweder wochentags oder bei vierzehntägig stattfindenden Sammlungen an Samstagen ihre Altgeräte für eine wissenschaftliche Untersuchung zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich wurde jeder Anlieferer gebeten einen Fragebogen zu dem betreffenden Altgerät auszufüllen. Um einen möglichst großen Informationsgehalt zu erhalten, wurde jedes Gerät und die zugehörigen Fragebögen markiert.

Die Beschaffungsaktion in Essen erstreckte sich über zweimal drei Monate und beinhaltete zehn Samstage, an denen ebenfalls die Möglichkeit gegeben war Altgeräte abzugeben.

Für die Zerlegung wurde eine Gerätemenge zusammengestellt, die in Zusammensetzung und Mengenverteilung dem Aufkommen entsprach. Während der Identifizierung und Inventarisierung fiel auf:

- daß ein hoher Prozentsatz der Apparate noch funktionstüchtig war,
- daß fast keine Schwarz-Weiß Fernseher abgegeben wurden,
- und daß aus allen batteriebetriebenen Geräten diese bereits entfernt waren.

Eine Gegenüberstellung der Gesamtbesucherzahl und der Zahl der abgegebenen Geräte ergibt keine Zusammenhänge. Eine Systematisierung war nicht möglich.

Der Bereich Essen wies zur Zeit der Studie eine Bevölkerungsdichte von 2952 Einwohner pro qkm auf. Bei einem Einzugsgebiet (bestimmt durch maximale und durchschnittlich zurückgelegte Entfernung vom Wohnort bis zum Recyclinghof) errechnet sich ein Bereich von 78,5 qkm und folglich 231 842 angesprochene Bürger.

Laut Landesamt für Statistik standen zu diesem Zeitpunkt in den alten Bundesländern jährlich 3 400 000 Fernseher zur Entsorgung an. Für den Einzugsbereich des Recyclinghofes Essen ergab sich eine theoretische Entsorgungsmenge von 12 842 Fernsehern.

Während des Quartals in dem eine permanente Sammlung und Erfassung der angelieferten Geräte vollzogen wurde, fielen 388 Apparate an. Bei einer Hochrechnung auf des ganze Jahr ergeben sich somit 1 552 Fernsehgeräte. Der erzielte Wert stellte folglich nur 12,1% des theoretischen Aufkommens dar.

Ursache für diesen geringen Wert waren:

- Das Prinzip des Recyclinghofes ist ein reines Bringprinzip
- Alle angefallenden Geräte können auf herkömmliche Weise entweder durch den Hausmüll (per Mülltonne) oder durch kostenlose Sperrgutabfuhr bequem entsorgt

werden

Recyclinghöfe sind eine relativ neue Einrichtung und noch nicht der gesamten Bevölkerung bekannt

Der Recyclinghof kann durch seine Lage und insbesondere durch die teilweise sperrigen oder auch schweren Geräte nur mit einem Auto beliefert werden

Der anliefernde Personenkreis ist somit stark eingegrenzt. Eine stichprobenhafte Befragung nach den Wohnverhältnissen, dem Beruf, der vorhandenen Lagerkapazität, etc. und die benutzten Autos ergab, daß das die "gehobene Mittelschicht" den überwiegenden Teil der Anlieferer stellt.

Die Übertragung auf ein mögliches Aufkommen nach Inkrafttretung der Verordnung ist dadurch nicht möglich.

Gerätesammlung aus dem gewerblichem Bereich

Ein weiterer Bereich der zu untersuchenden Geräte wurde durch separate Einzelanlieferungen aus dem Gewerbe abgedeckt.

Zu diesen Kontakten zählten sowohl Hersteller und Vertreiber, als auch öffentliche und privatwirtschaftliche Unternehmen. Der Umfang der angebotenen Lieferungen umfaßte in diesen Fällen meist komplette EDV-Anlagen. Bei allen Lieferungen wurden nur maximal vier baugleiche Geräte angenommen.

Bei den gewerblichen Anlieferungen waren deutlich zwei Bereiche zu unterscheiden.

Anlagen von privatwirtschaftlichen Unternehmen kennzeichneten sich meist dadurch aus, daß sie nicht in Einzelgeräten, sondern als Gesamtanlage ausgetauscht wurden. Folglich waren diese Geräte meist noch voll funktionstüchtig. Das Durchschnittsalter belief sich auf ca. fünf Jahre (Abschreibungsende!).

Apparate öffentlicher Stellen (Universitäten, Weiterbildungszentren, o.ä.) wiesen ein wesentlich höheres Alter auf und oftmals wurden nur einzelne Komponenten ausgemustert.

Aufgrund der willkürlich zustande gekommenen Kontakte war eine Aussage über anfallende Entsorgungsmengen nicht zu treffen.

Demontage der Geräte

Um mit dem Handling der Geräte vertraut zu werden, die Besonderheiten der einzelnen Apparatetypen kennenzulernen, wurden in den ersten zwei Projektwochen für die Demontage und Fraktionierung der Elektronikschrotteräte ein Modell mit sieben Fraktionen zugrunde gelegt. Es beinhaltete die manuelle Zerlegung in Eisen- und Metallschrott, technische Kunststoffe, Leiterplatten, Stecker und Steckverbindungen, Kabel, Batterien und Glas.

Für die Zerlegung wurde folgender Ablauf festgelegt:

1. Vor ihrer Bearbeitung wurden die Apparate auf ihre Vollständigkeit überprüft.
2. Jedem Gerät wurden anhand der kennzeichnenden Nummer die zugehörigen Bögen aus der Sammlung in Essen zugeordnet.
3. In einem zusätzlichen Begleitbogen konnten die spezifischen Gewichte der Einzelkomponenten festgehalten werden.
4. Das Gesamtgewicht wurde mit einer Auflösung von 10 g aufgenommen und notiert.
5. Anschließend wurden die Geräte in die Fraktionen unterteilt.
6. Die Gewichte der Einzelfraktionen wurden festgehalten und die Fraktionen in getrennten Behältern abgelegt.
7. Spezielle Inhaltsstoffe wurden verpackt (z.B. Tonerkartuschen) und getrennt gelagert.
8. Besonderheiten bezüglich der Zerlegearbeiten oder der Inhaltsstoffe wurden in einem Bemerkungsfeld (Datenbank) notiert.

Die größten Gefahren bei der Demontage stellen z.B. die evakuierten Bildröhren, Toner und Flüssigkeiten der Kopierer sowie die Staubemission aus Staubsaugerbeuteln dar.

Eine entsprechende vorgeschaltete Entsorgung dieser Bestandteile verhindert eine Gefährdung des Personals.

Die Untersuchungen ergaben, daß auch das geeignete Öffnen des Vakuums einer Bildröhre keinerlei Schadstoffe austreten läßt. Da die Beschichtung der Frontscheibe in einem Hochvakuum beständig sein muß, dampfen auch nach Abschalten dieses Vakuums keinerlei Bestandteile aus. Eine praktische und theoretische radiologische Untersuchung ergab, daß auch keine Strahlenbelastung auftreten kann.

Die Entschärfung der Bildschirme sollte somit Bestandteil einer Vorentsorgung sein. Weitere, über das übliche Maß hinausgehende Sicherheitsvorkehrungen, sind nicht notwendig.

Fraktionierung

Es stellte sich heraus, daß eine Unterteilung in die vorgegebenen sieben Fraktionen keine ausreichenden Aussagen über die Geräte ermöglichten. Im Laufe des Projektes wurde die Fraktionierung abgeändert oder erweitert.

Zusätzliche Informationen wie das Herstellungsdatum des Gerätes, die Abmessungen und das Herstellungsdatum der Bildröhre, spezielle Inhaltsstoffe oder spezielle Handgriffe wurden notiert, soweit sie feststellbar waren.

Zu eigenständigen Fraktionen wurden Holz, technische Kunststoffe, Glas, Bildröhren, Batterien (unterteilt nach Inhaltsstoffen), Platinen/Schalter, Lautsprecher, Kabel/Stecker, Spulen/Kupfer, Transformatoren (Verbund FE+CU), Kondensatoren, Blei, Aluminium und FE-Metall und Edelstahl erklärt.

Schadstoffpotentiale

Eine Belastung der Umwelt entsteht durch die unsachgemäße Behandlung der Fraktionen: Kondensatoren, Batterien, Tonerkartuschen, Bildröhren, Platinen und mit Additiven versehene Kunststoffe. Grundsätzlich sollte eine Verletzung der äußeren Schutzumhüllungen von schadstoffhaltigen Bauteilen sorgfältig vermieden werden.

Grundsätzlich kann jeder Elektrolytkondensator PCB beinhalten. Untersuchungen ergaben, daß eine Beschriftung keine zuverlässige Aussage über die Inhaltsstoffe gibt.

Batterien und Akkumulatoren enthalten Schwermetalle und toxische organische Substanzen. Tonerkartuschen und Toner sollten nach bisherigem Stand der Technik ebenfalls als Sondermüll entsorgt werden. Für einige Bauarten und Zusammensetzungen bieten bestehende Unternehmen bereits Möglichkeiten des Recyclings an.

Die Schadstoffanteile der Bildröhren existieren in eingebundener Form im Konusglas bzw. im Glaslot und in offener pulverförmiger Form in der Beschichtung.

Im Bereich der Kunststoffe sind vorrangig die Zuschlagsstoffe Blei, Barium, Zinn, Zink und Cadmium problematisch. Sie werden als Stabilisatoren (PVC) und als anorganische Farbpigmentierung zugesetzt.

Als Weichmacher in PVC (Kabel/Isolierungen) kommen DEHP (Phthalsäuren) zum Einsatz. Sowohl Schwermetalle als auch DEHP ist subakut als gering toxisch anzusehen.

Zusatzstoffe mit brandschützender Wirkung auf Brombasis stehen im Verdacht im Brandfall polybromierte Dibenzodioxine und -furane freizusetzen. Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen dürfen diese Stoffe nicht mehr zum Einsatz kommen.

Additive Systeme, welche Chlor, Bor oder Antimon enthalten, sind durch eine Diskussion innerhalb der EG über schädliche Zersetzungsprodukte oder starke Rauchentwicklung ebenfalls gefährdet. Um möglichen Auflagen des Gesetzgebers frühzeitig Sorge zu tragen, sollte der Wiedereinsatz der Kunststofftypen mit brandschützenden Additiven grundsätzlich nicht angestrebt werden.

Eine unmittelbare Gefährdung geht von diesen Stoffen nicht aus. Einer thermischen Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage mit entsprechender Rauchgasreinigung steht momentan keine gesetzliche Auflage entgegen.

Recyclingmöglichkeiten der Fraktionen

Eine Verwertung von Baugruppen oder Einzelteilen ist aufgrund der angeführten Fakten wahrscheinlich nicht möglich.

Der technische Stand der Bauteile ist veraltet und somit können diese nicht in neue Geräte integriert werden.

Einzelne Bestandteile (z.B. polybromierte Zusätze in KU) sind nicht mehr zulässig.

Es können keine Angaben über die verbleibende Lebensdauer getroffen werden. (Garantie)

Ein Markt für dererlei Produkte existiert zur Zeit noch nicht. Zusätzlich müßte der Konkurrenz der auf dem "Elektronikbastelmarkt" angebotenen Restposten und Auslaufserien standgehalten werden.

Eine stoffliche Verwertung ist für einen Großteil der Fraktionen bereits zum jetzigen Zeitpunkt problemlos möglich.

FE-Metall:

Die anfallenden Metallabfälle stammen aus Verstrebungen, Verstärkungen und Gehäusen. Die Gehäuse und Abdeckungen, die den größten Massenanteil dieser Fraktion bilden, sind zumeist mit Lacken oder Aufklebern versehen. Eine manuelle Entfernung dieser Anhaftungen ist nicht rentabel.

Aluminium:

Aluminiumteile aus privathaushaltlichen Geräten sind in der Regel nur als Zierblenden zu finden. Im "gewerblichen" Bereich sind zusätzlich Gehäuse, Abschirmbleche und Verkleidungen aus Aluminiumdruckguß üblich.

Blei:

Reines Blei kommt in den anfallenden Geräten nicht in nennenswerten Mengen vor. Die anfallenden Bleistücke müssen über einen sehr langen Zeitraum gesammelt werden um verwertbare Mengen zu erhalten.

Transformatoren:

Diese Mischung aus FE-Metall und Kupfer kann ohne weitere Behandlung an Shredderbetriebe weitergeleitet werden. Die Lackanhaftungen am Kupfer werden nicht bemängelt, da ihr Massenanteil äußerst gering ist.

Kabel/Kupfer:

Isoliertes Kupferkabel wird bereits in der anfallenden Form von Shredderbetrieben verarbeitet. Die manuelle Entfernung der Stecker ist zur Zeit nicht nötig. Möglicherweise wird sich dieses durch den zu erwartenden Mengenanfall ändern, da die Qualität durch die Steckverbindungen sinkt.

Spulen:

siehe Transformatoren

Lautsprecher:

Die Fraktion Lautsprecher läßt sich, wie sich in Einzelversuchen gezeigt hat, nicht problemlos in Spule, Magnet und FE-Metall trennen. Spezielle Aufarbeitungsmaschinen zerstören die Magnete und ermöglichen eine automatisierte Fraktionierung.

Glas:

Glasabfälle werden von den verarbeitenden Betrieben meist nur in unterteilter Form (Flachglas, Rundglas, mit oder ohne Zusätze, ...) angenommen. Aufgrund des Mengenaufkommens ist eine weitere Behandlung bzw. Sortierung der Glasfraktion unrentabel. Eine Beimischung des Glases zu den hausmüllähnlichen Abfällen kann zu Abnahmeschwierigkeiten der Gesamtfraktion führen. Eine getrennte Entsorgung ist ratsam.

Batterien:

Batterien und Akkumulatoren sind nach ihren Bestandteilen zu unterteilen. Sofern diese auf Bleibasis aufgebaut sind, können sie über spezialisierte Unternehmen recycelt werden. Die geringfügig anfallenden Nickel-Cadmium Aggregate müssen zur Zeit als Sondermüll entsorgt werden.

Holz:

Das abgetrennte Holz ist von minderer Qualität (Preßspan) und zudem stark geschichtet, lackiert oder beinhaltet Formaldehyd. Für diese Fraktion ist nur eine thermische Verwertung möglich.

Kunststoffe:

Technische Kunststoffe müssen in zwei Gruppen unterteilt werden.

1) Glasfaserverstärkte und sehr stark mineralgefüllte Kunststoffe und Duomere

Sie sind nach einer Aufmahlung als Füllstoffe oder Zuschlagstoffe einsetzbar. Der Markt für diesen Einsatzzweck ist allerdings weitgehend gesättigt. Falls keine neuartigen Verwendungszwecke gefunden werden, ist nur eine Energiegewinnung durch Verbrennung möglich.

2) Technische Thermoplaste

Diese Kunststoffe lassen durch ihre Struktur mehrere Recyclingmöglichkeiten zu.

a) Energiegewinnung durch thermische Verwertung

Dieses Verfahren wird zur Zeit weitgehend durchgeführt, ist aber mit dem größten Wertverlust verbunden, folglich zu vermeiden.

b) Rückführung der Rohstoffe

Für die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Kunststoffabfällen sind mehrere Verfahren bekannt, z.B.: Alkoholyse, Hydrierung, Hydrolyse, Pyrolyse.

Die in den Kunststoffen enthaltenen Additive sind bei diesen Prozessen allerdings sehr störend, sodaß in der Praxis diese Verfahren nur für einen Teilstrom infrage kommt.

c) Wiedereinsatz als Kunststoff

Auch bei einem möglichen Wiedereinsatz als neue Kunststoffteile sind zwei verschiedene Arten anwendbar.

Grundsätzlich gilt, daß die anfallende Kunststofffraktion eventuell Zusatzstoffe beinhaltet, deren Verwendung nicht mehr den gesetzlichen Bestimmungen entsprechen. Vor einer möglichen Wiederverwendung müssen diese erkannt und beseitigt werden.

Formteilherstellung:

Bei der Formteilherstellung wird der anfallende Kunststoff bei erhöhtem Druck auf ca. 200 ° Celsius erwärmt. Bestandteile deren Schmelzpunkt über dieser Temperatur liegen, sowie jegliche Verunreinigungen, werden in der Schmelzmasse eingebettet. Durch anschließendes Formgießen können Produkte mit geringen Qualitätsansprüchen hergestellt werden. Übliche Herstellungsteile sind Parkbänke, Lärmschutzwälle, Blumenkübel, Fahrradständer, etc..

Der Markt für dererlei Produkte ist gering und wird zur Zeit von Recyclingteilen aus Hausmüllabfällen gedeckt.

Regranulierung:

Die Herstellung eines Regranulats stellt die hochwertigste Recyclingart dar. Voraussetzung für einen solchen Einsatz ist die Bereitstellung reiner Kunststoffsorten.

Z.Zt. existiert noch kein geeignetes Verfahren, die technischen Thermoplaste der Elektroindustrie sortenrein zu trennen. Eine Lösung wird vermutlich erst Mitte 1993 zu erwarten sein.

Für den Bereich der Kunststoffe aus dem Hausmüll, welche grundsätzlich ungefüllt und somit aufgrund der Dichte unterscheidbar sind, existieren bereits technische Lösungen. Nach Unterscheidung der Kunststoffarten aus dem Elektronikschrott könnten identische Verfahren angeschlossen werden.

Platinen:

Eine Rückgewinnung der Inhaltsstoffe der Platinen ist nur für die enthaltenen Metalle möglich. Das Trägermaterial einer Platine und die Gehäuse der Bauteile bestehen aus nicht recycelbaren Kunststoff- oder Keramikarten.

Mechanische Trennverfahren:

Eine mechanische Bearbeitung der Platinen setzt ein manuelles Entfernen der schadstoffhaltigen Bauteile, insbesondere die Elektrolytkondensatoren voraus. Anderenfalls würden die enthaltenen Schadstoffe das gesamte Shreddergut kontaminieren. Durch nachgeschaltete Mühlen und physikalische Trennverfahren wie Magnetabscheider, Rüttel- oder Windsichtungen können, je nach Zerkleinerungsgrad des Materials, die unter-

schiedlichen Fraktionen getrennt werden.

Thermische Trennverfahren:

Die Platinen werden zerkleinert in einen Ofen gegeben und bei Temperaturen über 1200 °Celsius (zur Vermeidung von Furanen, Dioxinen, ..) verbrannt. Die entstehende Wärme des verbrennenden Kunststoffanteiles wird für die Schmelzung der Metallanteile mitgenutzt. Es entsteht ein Metallgemisch, welches weiteren Aufarbeitungsschritten zugeführt werden muß. Diese Recyclingart ist aufgrund der Gesetzgebung für Rauchgasreinigung nur noch von einigen Großunternehmen mit entsprechend aufwendigen Abgasbehandlung möglich.

Naßchemische Verfahren:

Eine naßchemische Behandlung der Platinen ist durch Säurebäder oder Elektrolyse möglich. In einem Säurebad wird das Metall nach Ablösen der Lackschutzschicht aus dem Verbund herausgelöst und kann anschließend ausgefällt werden. Das Verhalten von Schadstoffen aus den Bauteilen in einem solchen Säurebad ist bislang nicht bekannt.

Bei der Elektrolyse werden die Metallatome in einem Salzbad durch elektrischen Strom abgelöst und an einer Titankathode abgeschieden.

Diese Arten der Aufbereitung ergeben die hochwertigsten Endprodukte. Nachteile der Verfahren sind der sehr hohe Energieaufwand und die verbleibenden Flüssigkeiten.

Bildschirme

Bildschirme bestehen aus Glas, Metall und einem pulverförmigen Gemisch als Schirmglasbeschichtung.

Das Glas unterteilt sich in Schirmglas (Silicatglas) mit einem Anteil von 62 Gew-%, Konusglas (Bleiglas) mit einem Anteil von 32 Gew-% und Glasemalle mit einem Anteil von 0,005 Gew-%. Weitere Unterschiede ergeben sich durch das Herkunftsland und die Generation der Röhren.

Im Falle einer reinen Trennung der verschiedenen Glassorten ließe sich das einzelne Glas relativ problemlos recyceln.

Integrale Einsatzmöglichkeiten gibt es nur bei einer Aufarbeitung in größerem Maßstab. (Zuschlagstoff in der Keramikindustrie, Glasbildner in der Reststoffbehandlung, ...)

Fazit

Konsequenzen für die herstellende Industrie

Die auf dem Markt befindlichen Geräte sind in erster Linie für eine einfache, kostengünstige Produktion ausgelegt.

Da sich ein Großteil der angebotenen elektronischen und elektrischen Geräte der Konsumgüterindustrie in einem Preisniveau befinden, in dem eine Reparatur nicht rentabel ist, sind diese Apparate entsprechend als "Wegwerfkonstruktionen" aufgebaut.

Eine Demontage ist folglich bei einigen Geräten nicht vorgesehen.

Ein recyclingfreundliches Konstruieren ist sicherlich in den nächsten Jahren nicht pauschal durchsetzbar.

Es müßten sich nicht nur die Produktionsabläufe ändern, sondern ebenfalls die Auswahl der eingesetzten Werkstoffe.

Der hoher Investitionsaufwand, der hierfür nötig ist, wird von den herstellenden Industrien sicherlich erst durch die Rückkopplung eines erhöhten Entsorgungspreises aufgeboten.

Von unmittelbarem Vorteil für die anfallenden Zerlegungszeiten wäre eine einheitliche Verschraubung innerhalb eines Gerätes.

Die Folge wäre eine Verkürzung der Demontagezeit, welches unmittelbar die Entsorgungskosten senken würde.

Schadstoffbehaftete Bauteile wie Elektrolytkondensatoren sollten leicht zugänglich und leicht entfernbar, möglichst räumlich konzentriert werden.

Auf diese Weise könnten die Platinen in einfacherer Art und Weise behandelt, Schadstoffe gezielt und sicher entsorgt werden.

Die Artenvielfalt der eingesetzten Werkstoffe sollte vermindert werden.

Der anfallende Sortieraufwand könnte auf diese Weise drastisch gesenkt werden. Die Sortenreinheit der Fraktionen wächst und steigert somit die Absatzchancen und den Absatzwert.

Insbesondere die eingesetzten Kunststoffe sollten auf ein Mindestmaß unterschiedlicher Sorten herabgesetzt werden.

Auf diese Weise würde sich ein jetziger Problemstoff zu einem Wertstoff entwickeln. Recyclingmethoden für sortenreine Kunststoffabfälle sind technisch ausgereift und klein- wie großtechnisch einsetzbar.

Lösungskonzept für entsorgende Industrien

Eine manuelle Zerlegung in definierte Fraktionen ist bei der Entsorgung von Elektronikschrott nicht zu umgehen.

Das Handling mit den unterschiedlichsten Abmessungen, Gewichten und Zusammensetzung erfordert unbedingt den Einsatz von geschultem Zerlegepersonal.

Die Erkennung und gezielte Entfernung von schadstoffbehafteten Bauteilen kann durch ständig wechselnde Typen oder Ausführungsvarianten nicht automatisiert werden.

Die sinnvolle Definition der Fraktionen ist sicherlich abhängig von dem jeweiligen Stand der Technik des zu entsorgenden Altgerätes. Künftige Entwicklungen und Veränderungen, welche durch die Hersteller vorgegeben werden, müssen zwangsläufig eine ständige Anpassung der Entsorgungsverfahren und somit auch der Fraktionierung nach sich ziehen.

Die nachgeschalteten Separierungsaufgaben ermöglichen den hochwertigen Einsatz der gewonnenen Sekundärrohstoffe, sodaß die Anlagen der verschiedenen Trennverfahren den wichtigsten Teil der einzusetzenden Maschinenteknik darstellen. Jede Verbesserung des Trenngrades wirkt sich unmittelbar auf die Qualität der Entsorgung aus.

Aufgrund der vielfältigen Aufgabenstellungen ist vermutlich kein Unternehmen in der Lage eine komplette Entsorgung des Elektronikschrotts vorzunehmen.

Eine Aufteilung der notwendigen Arbeiten in Zerlegebetriebe und in spezialisierte Aufarbeitungsunternehmen für einzelne Fraktionen verspricht die schnellstmögliche Verwirklichung des Recyclinggedankens der Elektronikschrott-Verordnung.

Alle Rechte der Verbreitung, auch fotomechanische Wiedergabe und auszugsweiser Nachdruck, außerhalb der Dokumentation des Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft, sind vorbehalten.

Copyright 1993 by Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik e.V.
Bliersheimerstr. 60, 47229 Duisburg, Autor Jochen Schiemann

Stand der Technik und Praxis der Aufbereitung von "brauner und weißer Ware"

Dr. Ing. W. Kretzer, Dipl.-Ing. H. Bühler
U.T.G. Gesellschaft für Umwelttechnik GmbH, Viersen

Punkt 1: Vorstellung der U.T.G

Die U.T.G. führt Ingenieurleistungen im Bereich der Entsorgungs- und Recyclingwirtschaft durch. Die Sachgebiete erstrecken sich von der Deponietechnik mit peripheren Anlagen für Gas, Sickerwasser etc. über Kompostierungsanlagenbau bis hin zu hochtechnisierten Wertstoff - Rückgewinnungs - Abläufen beim "Recyceln" von Gebrauchsgütern. Das Arbeitsgebiet umfaßt die Konzeptfindung über das Erstellen von Genehmigungsanträgen sowie Projektsteuerung und Behördenmanagement bei Genehmigungsanträgen bis hin zur Projektausführung.

Punkt 2: Legende

Seit Anfang 1990 bearbeitet unser Unternehmen in enger Zusammenarbeit mit der Fa. Trienekens Entsorgung ein Projekt zur Aufbereitung von "weißer und brauner Ware". Im Vorfeld der Projektierung wurde über ca. 1,5 Jahre Grundlagenforschung in Form von Probezerlegung und deren Auswertung betrieben. Neben der Geräte-Zusammensetzung, dem Mengenanfall und einer günstigen Handhabung wurde auch ermittelt, daß die Schadstoffe, wie z. B. PCB-haltige Kondensatoren und Hg-haltige Bauteile vor der mechanischen Aufbereitung aus den Geräten entfernt werden müssen. Damit wird erreicht, daß die nachfolgenden Einzelfractionen schadstofffrei aufbereitet werden können.

Im Zusammenhang mit den Marktgegebenheiten ergaben sich für das Projekt die wesentlichen Merkmale hinsichtlich Dimensionierung und Ausführung.

Seit Ende 1992 betreibt Trienekens Entsorgung diese neue, aufgebaute Elektroschrott-Aufbereitungsanlage (ES) im Zerlegezentrum Grevenbroich. Die Anlage ist derzeit bestückt zur Aufbereitung von ca. 4.000 Tonnen p. a. an "weißer und brauner Ware" sowie EDV-Schrott und Sonder-Großgeräten.

Die Gesamt-Arbeitsfläche beträgt ca. 1.800 m², verteilt auf zwei Gebäudegeschosse. Die ES-Aufbereitungsanlage ist zertifiziert durch den TÜV-Rheinland und entspricht damit den strengen ökonomischen und ökologischen Vorgaben.

Aufgrund weiterer Aufbereitungsanlagen im Zerlegezentrum, wie z. B. zur Quecksilberrückgewinnung oder auch zum Recyceln von asbesthaltigen Geräten ergibt sich im Zusammenhang mit der ES-Aufbereitungsanlage ein Synergieeffekt. So wird bei Hg-haltigen Bauteilen, wie auch Hg-Knopfzellen aus dem ES bei der Hg-Rückgewinnungsanlage reines, metallisches Hg zurückgewonnen, der Rest schadstoffentfrachtet. Einerseits ist ein optimaler und sicherer Aufbereitungsweg gangbar, andererseits wird die Maschinenauslastung z. B. der Rückgewinnungsanlage unterstützt.

Punkt 3: Stand der Technik und Praxis

Bei der Gesamtbetrachtung zum Aufbau der Anlage zeigte es sich als günstig, die Palette der Aufbereitungsleistung von "weißer und brauner Ware" zu ergänzen um EDV-Schrott und Sonder-Elektrogroßgeräte.

Die Kriterien zur Anlagenkonzeption sind grundsätzlich für alle Gerätegruppen gleichzusetzen.

Einklassifizierung der aufzubereitenden Produkte

weiße Ware

Haushaltsgroßgeräte

- z. B. - Waschmaschine
- Elektroherd
- Spülmaschine
- Trockner etc.

braune Ware

Unterhaltungselektronik

- z. B. -Plattenspieler
- Radiogerät
- Videorekorder
- Fernsehgerät etc.

Haushaltskleingeräte

- z. B. - Haarfön
- Rasierapparat
- Kaffeemaschine
- elektrische Zahnbürste

Kriterien zur Anlagenkonzeption

Zielsetzung	Anforderungen
- Schadstoffentfrachtung	- Arbeitssicherheit und -schutz
- geregelte Entsorgung der Reststoffe	- Umgang, Lagerung und Transport
- Wertstoffrückgewinnung hohe Verwertungsquote bei min. Reststoffanfall	- Arbeits- und Maschinenaufwand, Immissionsschutz
- energiearme Verfahren	- Mehrinvest, Zeitaufwand
- marktgerechte Ausgangsfractionen	- Akzeptanz durch den Abnehmer (Verwerter) Qualitätssicherung
- wirtschaftlich. tragbare Einheit	- erforderlicher Massendurchsatz, stetiger Massendurchsatz, kurze, interne Transportwege, maschinell unterstützte Arbeitsabläufe
- Automatisierung, Systemabläufe	- Artenvielfalt, Zusammensetzung, Größen- und Gewichtsunterschiede

Schadstoffentfrachtung

Dabei wurde besonderen Wert gelegt auf die Erkennung und den Umgang dieser Stoffe durch speziell geschulte Mitarbeiter.

In der Regel handelt es sich hierbei um Gefahrstoffe im Sinne der Gef.St.Verordnung. Entsprechende organisatorische wie auch persönliche Schutzmaßnahmen sind für uns oberstes Gebot.

Geregelte Entsorgung

Bei der geregelten Entsorgung von Reststoffen wird eine Umfeldausstattung vorausgesetzt, die den korrekten und angepaßten Umgang mit den Reststoffen unterstützt.

Wertstoffrückgewinnung

Eine möglichst direkte Separation von sortenreinen Materialien ist anzustreben. Die Betriebskalkulation wird vom Ergebnis her den Maschinenaufwand bestimmen. Hinsichtlich weiterer Aufbereitungsschritte, wie z.B. das Ausdestillieren Hg-haltiger Materialien, sind Mindestmengenströme Voraussetzung.

Energiearme Verfahren

Speziell bei Zerkleinerungsstufen, wie z.B. durch eine Schneidmühle, sind die Gesamt-Energiebilanzen gegenüberzustellen.

Marktgerechte Ausgangsfractionen

Neben den Mindest-Erzeugermengen der Produktionsqualitäten sind hier die Kenntnisse des möglichen Abnehmermarktes von Bedeutung. Die Produkthanforderung der Abnehmer beeinflusst den Grad der Aufbereitung erheblich.

Wirtschaftlich tragbare Einheit

Die Maschinen- und Anlagenkapazitäten sind nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten auszulegen.

Automatisierung, Systemabläufe

Aufgrund der unterschiedlichen Geräte ist eine reine Automatisierung bzw. sind Systemabläufe nicht möglich. Es wird jedoch angestrebt, Arbeitsvorgänge maschinenunterstützt vorzunehmen und teilzuautomatisieren.

Zum Fließbild: **Aufbereitung von "Weißer Ware"**

Bei der "weißen Ware" war und ist die Aufbereitungssituation noch verhältnismäßig einfach, da nach einer Störstoff- und Schadstoffentfrachtung die Geräte als Metallschrott abgegeben werden können.

Störstoffe sind in der Regel Massenausgleichsgewichte aus Beton oder Stahlguß in Waschmaschinen, aber auch Herd-Heizplatten oder Verschmutzung. Als Schadstoffe sind nahezu ausschließlich PCB-haltige Kondensatoren zu sehen.

Eine weitere Auftrennung der "weißen Ware", wie z. B. Separieren der Elektromotoren oder auch Cr Ni-Waschtrommeln, ist derzeit aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht gerechtfertigt. Nach einer extern erfolgten mechanischen Zerkleinerung durch Shredder, Hammermühle o. ä. erfolgt eine maschinelle Fraktionierung. Die erzeugten Shredderfraktionen Fe- und NE-Metalle gehen direkt in die Verhüttung. Reststoffe, wie z. B. Gummiabdichtungen und Kunststoffverbunde (Leisten, Bedienungsgriffe) werden deponiert.

Die künftig zu erwartenden höheren Qualitätsanforderungen durch den Schrotthandel aufgrund verschärfter Immissionsbestimmungen bei den Hüttenwerken werden zwangsläufig zu einer weiteren Auftrennung bei der Demontage führen.

Zum Fließbild: **Aufbereitung von "Brauner Ware"**

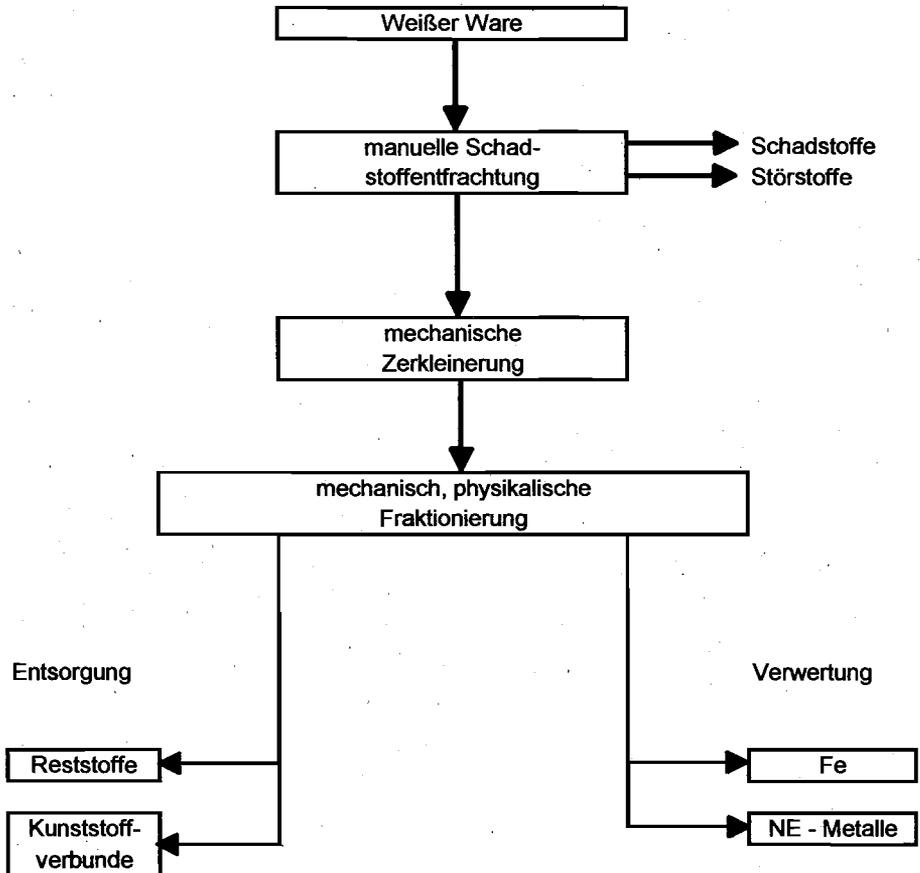
Bei der "braunen Ware" sind aufgrund der Artenvielfalt dieser Geräte erhebliche Unterschiede in Zusammensetzung, Form, Größe und Gewicht gegenüber der "weißen Ware" vorhanden.

Die Schadstoffentfrachtung, Zerlegung und Sortierung - als manuellen Demontageblock dargestellt - bildet derzeit den Hauptteil des Betriebsablaufes.

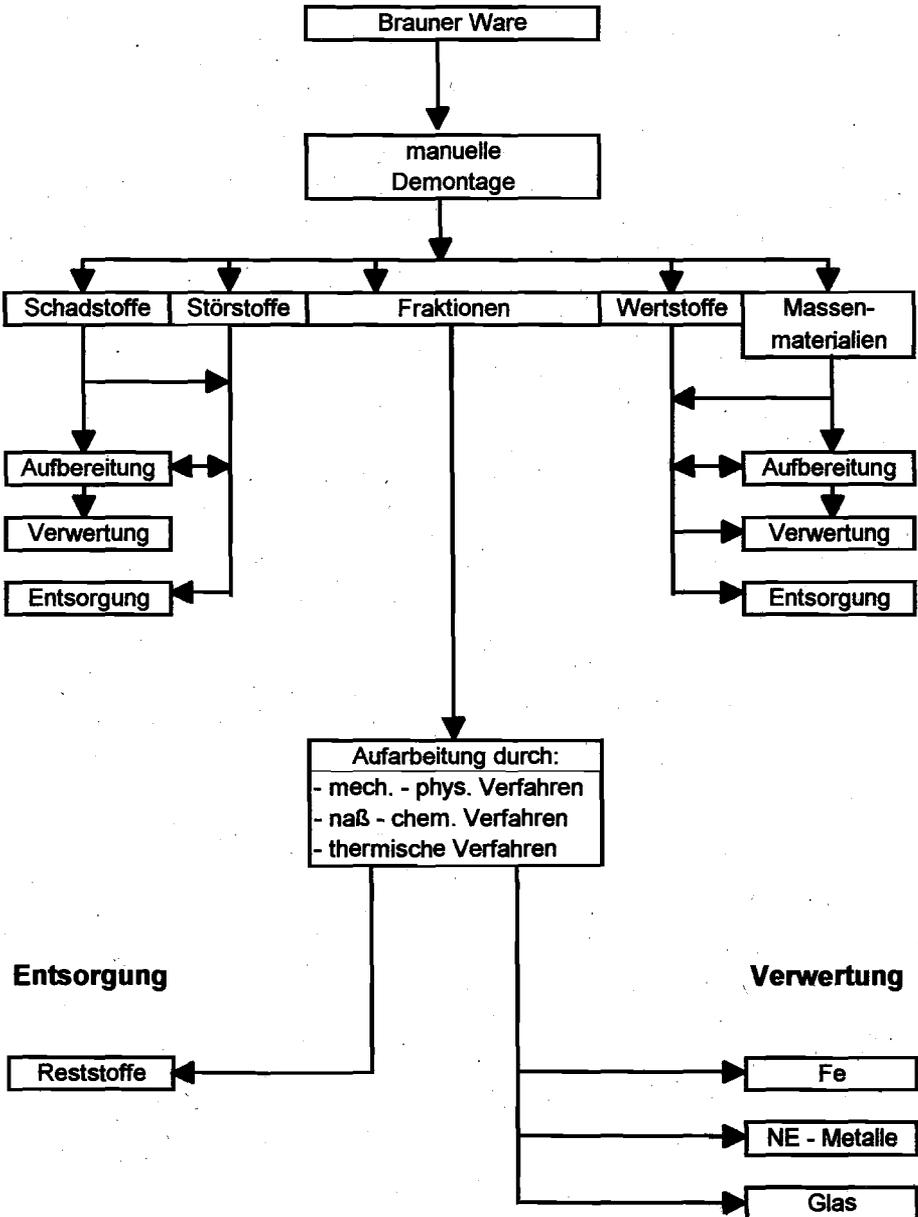
Primär erfolgt die Entnahme der Schadstoffe, wie z. B. Hg-haltige Bauteile, NiCd-Batterien, die in eine weitere Aufbereitung gegeben werden können. Auch sind Schadstoffe, wie z. B. PCB-haltige Kondensatoren mit dabei, die direkt in die Entsorgungsschiene gegeben werden.

Störstoffe, wie z. B. Filter, Dämmaterial, Staubsaugerbeutel und Schmutz werden direkt der Entsorgung zugeführt.

Stand der Technik bei der Aufbereitung von



Stand der Technik bei der Aufbereitung von



Wertstoffe werden in zwei Kategorien eingeteilt:

Die erste wird durch direkt wiederverwertungsfähige Produkte, wie Prozessoren oder sortenreines Metall gebildet.

Die zweite Kategorie setzt sich aus Produkten zusammen, die vor Wiedereinsatz einer weiteren Trennstufe bedürfen.

Massenmaterialien, wie z. B. Kunststoffgehäuse, Holzgehäuse und Apparate-Rückwände, werden möglichst frühzeitig von den Geräten separiert. Damit werden die nachfolgenden Aufbereitungsschritte logistisch stark entlastet.

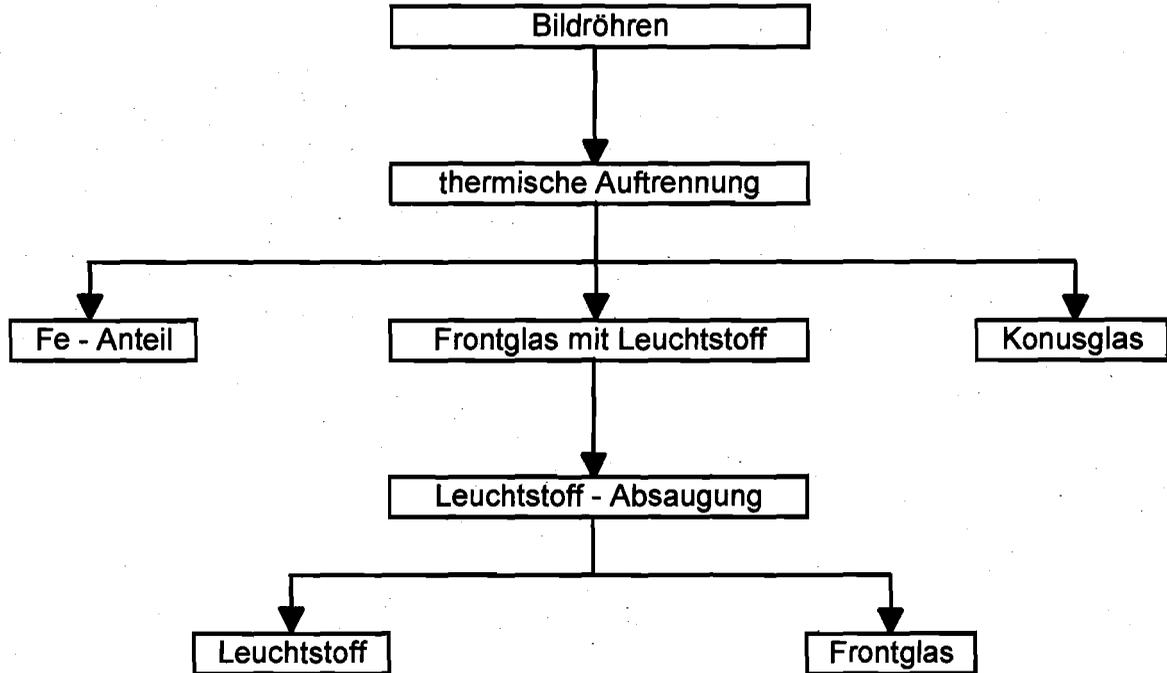
Technisch sind für die Massenmaterialien weitere Aufbereitungsverfahren möglich, jedoch unter den gegebenen Umständen wirtschaftlich nicht sinnvoll. Über eine Zerkleinerungsstufe wird lediglich eine Volumenreduzierung vor dem Dephonieren erreicht.

Die Fraktionen, wie z. B. Platinen, Kabel, Ablenkeinheiten, Fe, Fe-Cu, Alu-Fe-Verbund gelten als die Gruppe, die nach der Demontage aufbereitet wird. Glas in Form der Bildröhre nimmt hier eine Sonderstellung ein. Bei einem Gesamt-Massenanteil von ca. 38 Gewichts-% erfolgt bei der separierten Bildröhre eine weitere, in die Anlage integrierte Aufbereitungsstufe.

Die Fraktionen werden extern nach unterschiedlichen Verfahren in marktgerechte Produkte aufbereitet. Verbleibende Reststoffe gehen in die Entsorgung. Sämtliche Kunststoffe werden derzeit aufgrund der heterogenen Zusammensetzung, teilweise mit Brandschutz-Additiven versetzt, nicht aufbereitet. In absehbarer Zeit wird sich hier keine Änderung ergeben.

Die Bildröhre wird in einer Trennvorrichtung zerlegt, daß der Fe-Anteil in Form von Spannrahmen und Streumaske sowie das Konusglas sortenrein vorliegen. Nach einer Trockenabsaugung des Leuchtstoffes liegt auch das Frontglas schadstofffrei und sortenrein vor. Diese Art von Aufbereitung ermöglicht mehrere Arten der Wiederverwendung von Konus- und Frontglas. Künftige Änderungen bei den gesetzlichen Rahmenbedingungen können lediglich eine Verschiebung der Demontagetiefe bei den Geräten erforderlich machen. Zusammensetzung und Aussehen der einzelnen Fraktionen richten sich nach den künftigen Veränderungen des Abnehmermarktes.

Integrierte Aufbereitung anfallender Bildröhren



Punkt 4 Ausführung der bestehenden Aufbereitungsanlage

Auf kurze Beschickungs- und Materialausgangswege wurde besonderen Wert gelegt. Die Ein- und Ausgangs-Materialströme der Demontage- und Aufbereitungslinien sind zusammenlegbar und kombinierbar.

Durch Förderer wird ein stetiger Geräteverlauf erreicht.

Die Aufbereitungslinien sind systematisch erweiterbar zur Erhöhung der Durchsatzleistung bzw. veränderbar in der Demontagetiefe.

Die zentrale Annahme ermöglicht eine gemeinsame Erfassung/Protokollierung der Eingangsströme. Die Aufbereitungslinien stehen aufgrund mehrgeschossiger Bauweise übereinander. Dadurch sind weitere logistische Verknüpfungen möglich.

Punkt 5 Schlußfolgerung

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen zur ES-Aufbereitung sind noch nicht verabschiedet. Der gegenwärtige Entwurf zur ES-Verordnung wird in absehbarer Zeit nicht in Kraft treten und kann sich bis dahin in seinem Inhalt noch wesentlich ändern.

Entsorgungsunternehmen gehen aufgrund dieser fehlenden gesetzlichen Grundlagen beim Aufbau von ES-Aufbereitungsanlagen in Vorleistung.

Es ist möglich, daß in Zukunft system- und baugleiche Fraktionen vermehrt extern in dafür geschaffene, spezialisierte Aufbereitungseinrichtungen gegeben und in marktgerechte Produkte aufbereitet werden. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, den derzeitigen Handlungsbedarf zu decken und gleichzeitig den Grundstein für eine innovative, technische Weiterentwicklung zu legen, müssen die ES-Aufbereitungsanlagen flexibel ausgerichtet sein.

Bei Investitionsentscheidungen gilt hier jedoch die Maxime:

"Auf sorgfältige Erstellung marktgerechter Gegebenheiten und Entwicklungen ist besonderen Wert zu legen."

Stand der Technik und Praxis des Bildröhren-Recyclings

Dr. Stefan Maier

1. Mengen und Problemstoffe

Nach einer Studie des ZVEI werden in 1994 innerhalb der Gesamtmenge von bis zu 1,5 Mio. t an bundesweit in den Markt gebrachten Elektronikgeräten die Fernsehgeräte und EDV-Monitore mit ca. 17% oder 255.000 t vertreten sein. Hiervon wiederum sind mehr als 65% der Masse in der eigentlichen Bildröhre zu finden. Dies bedeutet selbst unter Berücksichtigung der weitverbreiteten Zweit- und Drittnutzung einen Verwertungsbedarf von jährlich bis zu 100.000 t allein für defekte Bildröhren.

Die Zusammensetzung einer Farbbildröhre ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine direkte Umweltgefährdung geht ausschließlich von den Beschichtungen der Gläser aus, die für die Erzeugung des Bildes (Schirmbeschichtungen) bzw. zur Elektronen-Rückleitung und Schwärzung der Innenseiten (Konusbeschichtungen) aufgebracht werden müssen.

Komponenten	Masse [g]
Schirmglas	12.500
Konusglas	4.700
Metalle (Maske, Spann- & Maskenrahmen)	2.400
Strahlerzeuger-Einheit	88
Glasfritte	85
Beschichtungen und Leuchtstoffe	7
Gesamtmasse	19.780

Tab. 1: Zusammensetzung einer 63 cm-Farbbildröhre

Die chemische Zusammensetzung von Schirmglas (Vorderteil der Röhre) und Konusglas unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen technischen Anforderungen: Während im Konusglas zur Absorption der im Innern der Bildröhre erzeugten hochenergetischen Strahlung Bleioxid als Zuschlagstoff eingesetzt wird, muß dieses im Schirmglas durch Bariumoxid (bei Röhren aus europäischer Produktion) bzw. Strontiumoxid (bei Röhren aus Fernost) ersetzt werden, da Bleioxid nach einiger Zeit der Elektronenbestrahlung zu einer Verfärbung des Glases führen würde. Da zudem die Glas-Rezepturen zwischen den unterschiedlichen Glasherstellern verschieden sind und im Laufe der Jahre stetigen Änderungen unterworfen

waren, lassen sich für die chemische Zusammensetzung von Bildröhrenglas nur ungefähre Angaben machen. Eine Auflistung der möglichen Inhaltsstoffe mit Konzentrationsgrenzen findet sich in Tabelle 2. Diese wechselnde und für Schirm- und Konusglas grundsätzlich unterschiedliche Zusammensetzung ist zwar für die eigentliche Schadstoffentfrachtung nicht relevant, beeinflusst jedoch die Möglichkeiten der Wiederverwertung des gereinigten Glases (siehe Abschnitt 3.).

Verbindung	Formel	Gew. % Konus	Gew.% Schirm
Siliciumoxid	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
Arsenik	As ₂ O ₃		0,0 - 0,2
Cerioxid	CeO ₂		0,0 - 0,6
Wolframtrioxid	WO ₃		0,0 - 1,8
Zinkoxid	ZnO		0,0 - 3,0
Zirkonoxid	ZrO ₂		0,0 - 2,0
Lithiumoxid	Li ₂ O	0,0 - 0,5	
Phosphorpentoxid	P ₂ O ₅	0,1 - 0,6	

Tabelle 2: Zusammensetzung Bildröhrenglas

Zusätzlich fallen bei der Produktion neuer Bildröhren erhebliche Mengen von aufgrund unterschiedlichster Mängel nicht weiter verwendbaren Ausschuß-Bildröhren an. Diese großen Mengen an Alt- und Ausschuß-Bildröhren stellen durch die in den Beschichtungen der Bildröhren enthaltenen Schadstoffe eine akute Gefährdung für die Umwelt dar. Diese Problematik spiegelt sich u.a. wider in der Einordnung von unbehandelten Bildröhren unter der Abfallschlüssel 314 33 (Glas- und Keramikabfälle mit schädlichen Verunreinigungen) mit der Entsorgungspflicht als Sonderabfall Untertage. Daher erscheint es unabhängig vom

Inkrafttreten der Elektronikschrottverordnung allein unter ökonomischen Gesichtspunkten sinnvoll, durch moderne Recyclingtechnologien eine Schadstoffentfrachtung und Material-Separierung für Bildröhren zu realisieren, um einerseits teuren Deponieraum einzusparen und andererseits hochwertige Sekundärrohstoffe zu gewinnen.

Ziel aller diesbezüglichen Verfahren muß es daher sein, eine Aufkonzentrierung der Schadstoffe zu ermöglichen, so daß nur eine geringe Restmenge deponiert werden muß. Zusätzlich ist eine möglichst gute Qualität der gewonnenen Rohstoffe bei auch im großtechnischen Betrieb niedrigen Recyclingkosten anzustreben.

2. Grundlegende Anlagenkonzepte

Die derzeitig in der Diskussion befindlichen verfahrenstechnischen Konzeptionen, die teilweise zumindest in Pilotanlagen realisiert und erprobt sind, lassen sich nach der Abfolge der Verfahrensschritte und nach der Art der verwendeten Reinigungstechnologien grob klassifizieren. Man kann grundsätzlich unterscheiden in

- a) Techniken, bei denen die Bildröhren zunächst getrennt werden müssen;
- b) Verfahren, die eine Trennung nicht oder erst später im Prozeßablauf vorsehen.

Unabhängig von der Vorgehensweise bei der Trennung der Bildröhren können folgende Reinigungstechniken angewandt werden:

- A) Mechanische Trockenverfahren mit Bürsten, Strahlmitteln oder trockene Mahlverfahren, jeweils mit Schadstoffrückhaltung aus der Abluft
- B) Mechanische Naßverfahren ohne Chemikalienzusatz, Schadstoffrückgewinnung aus dem Prozeßwasser
- C) Chemische Naßverfahren, teilweise mit Ultraschall-Unterstützung, Schadstoffe in der Naßchemie.

Die prinzipbedingten Vor- und Nachteile dieser unterschiedlichen Anlagenkonzepte sind in Tabelle 3 kurz zusammengefaßt.

Grundsätzlich sind die Verfahren a) oder b) beliebig mit den Reinigungstechniken A) bis C) kombinierbar. Da sich so eine Vielzahl von im Detail unterschiedlichen Möglichkeiten der Verfahrenstechnik ergibt, sollen nachfolgend beispielhaft die Arbeitsweisen eines mechanischen Trockenverfahrens mit vorheriger Röhrentrennung (Vicar GmbH, Berlin) sowie eines automatisierten Naßverfahrens (Züblin-Verfahren) mit optionaler Vor- oder Nachtrennung der Glassorten dargestellt werden.

Verfahren	Vorteile	Nachteile
vorherige Trennung	Bessere Verwertbarkeit der getrennten Glassorten; anschließend schnellerer Prozeßablauf, da Metalle bereits separiert sind.	Automatisierung schwierig; Personalkosten hoch; Arbeitsschutz problematisch
keine oder nachträgliche Trennung	Vollautomatischer Ablauf möglich, daher sehr kostengünstig	Sortenreinheit der Fraktionen eingeschränkt, Verwertbarkeit schwieriger
Trockenmechanisch	kein Abwasser	Aufwendige Kapselung und Abluftreinigung erforderlich; Arbeitsschutz bei manuellen Verfahren sehr problematisch
Näßmechanisch	Sehr gute, kontrollierbare Reinigungsleistung; Wasser kann im Kreislauf geführt werden	Prozeßwasseraufbereitung erforderlich
Näßchemisch	Geringer mechanischer Verschleiß	Regelmäßiger Wechsel der Chemikalien erforderlich; Umwelt- & Kostenprobleme; nicht f. alle Schirm- & Konusbeschichtungen geeignet

Tabelle 3: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Anlagenkonzepte

Verfahrensbeschreibung Trockenverfahren mit Röhrentrennung

Das Aufbereitungskonzept der **Vicor GmbH** sieht im ersten Verfahrensschritt das manuelle Entfernen des Spannrahmens und der Strahlerzeuger-Einheit von der bereits belüfteten Bildröhre vor.

Anschließend wird jede Röhre in eine Demontageeinrichtung gebracht, die die Größe automatisch erkennt und nach entsprechender Anpassung das Auftrennen des Glaskolbens an der Fritte ermöglicht. Hierfür wird ein elektrisch erhitzter Wolframdraht eingesetzt. Jetzt können das Konusglas, die Lochmaske und der Schirm getrennt entnommen werden.

Das anfallende Konusglas soll nach einer Zerkleinerung direkt der Wiederverwertung (Verhüttung) zugeführt werden, ohne zuvor die fest anhaftenden Eisenoxid-, Graphit und Polymer-Beschichtungen zu entfernen.

Die eigentliche Schadstoffentfrachtung erfolgt lediglich am Schirmglas. Dort wird die umweltgefährdende Leuchtschicht mittels mechanischer Bürsten entfernt, die an Industriestaubsauger mit Feinstfiltern angeschlossen sein müssen. Bei alten Bildröhren, bei denen die Leuchtschicht aufgrund der vielen Betriebsstunden teilweise tief eingebrannt ist, ist eine vollständige Entschichtung so nur unzureichend möglich.

Da die geschilderten Verfahrensschritte vom Bedienpersonal durchgeführt werden müssen, ist dem Arbeitsschutz hier besonderes Augenmerk zu widmen.

Verfahrensbeschreibung automatisches Naßverfahren (Züblin Bildröhren-Recycling)

Nach der Belüftung der kompletten Bildröhren und Abtrennung der Strahlerzeuger-Einheit, die bereits bei der Vordemontage erfolgen sollte, werden die Röhren zwischengepuffert. Vom Pufferlager aus erfolgt die Beschickung der Zerkleinerungsstufe. Diese ist zur Vermeidung von Staub- und Lärmemissionen, wie sie beim Zerkleinern der Bildröhren entstehen, gekapselt ausgeführt und zusätzlich mit einer Staubabscheidung versehen.

Im nächsten Schritt werden die im Glasbruch befindlichen metallhaltigen Teile auf einer Förderstrecke abgeschieden. Die Reinigung der beschichteten Glasbruchstücke erfolgt im Chargenbetrieb in einer Spezial-Wascheinheit. Es handelt sich dabei um einen rein mechanisch-physikalischen Prozeßablauf unter Einsatz von Prozeßwasser, ohne jeden Chemikalienzusatz. Nach der Reinigung durchläuft das Glas mehrere Trennstufen, in denen das gereinigte Glas von anhaftendem Feinschlamm und Prozeßwasser getrennt wird. Durch diverse Änderungen an der Trennstufe ist hier zusätzlich eine fast vollständige Trennung nach Schirm- und Konusglas realisierbar.

Die im Prozeßwasser enthaltenen Feinschlämme werden in einer nachgeschalteten Behandlungsanlage abgetrennt und nach Entwässerung derzeit als Sonderabfall entsorgt. Inzwischen deuten sich allerdings auch für dieses Schadstoffgemisch Verwertungswege an. Das schlammfreie Prozeßwasser wird dann der Anlage wieder zugeführt. Durch diese ge-

geschlossene Kreislaufführung kann die gesamte Bildröhren-Recyclinganlage abwasserfrei betrieben werden.

Die weltweit erste derartige Anlage mit einer Kapazität von ca. 200.000 Bildröhren pro Jahr bei Einschicht-Betrieb ist seit Jahresbeginn 1992 bei Nokia Display Technics in Esslingen erfolgreich in Betrieb. Hier wird das aufbereitete Glas der Ausschuß-Bildröhren aus der Neuproduktion direkt an den Glashersteller, die Firma Schott in Mainz, zurückgeliefert. Es wird dort zur Herstellung von neuem Konusglas für Bildröhren eingesetzt.

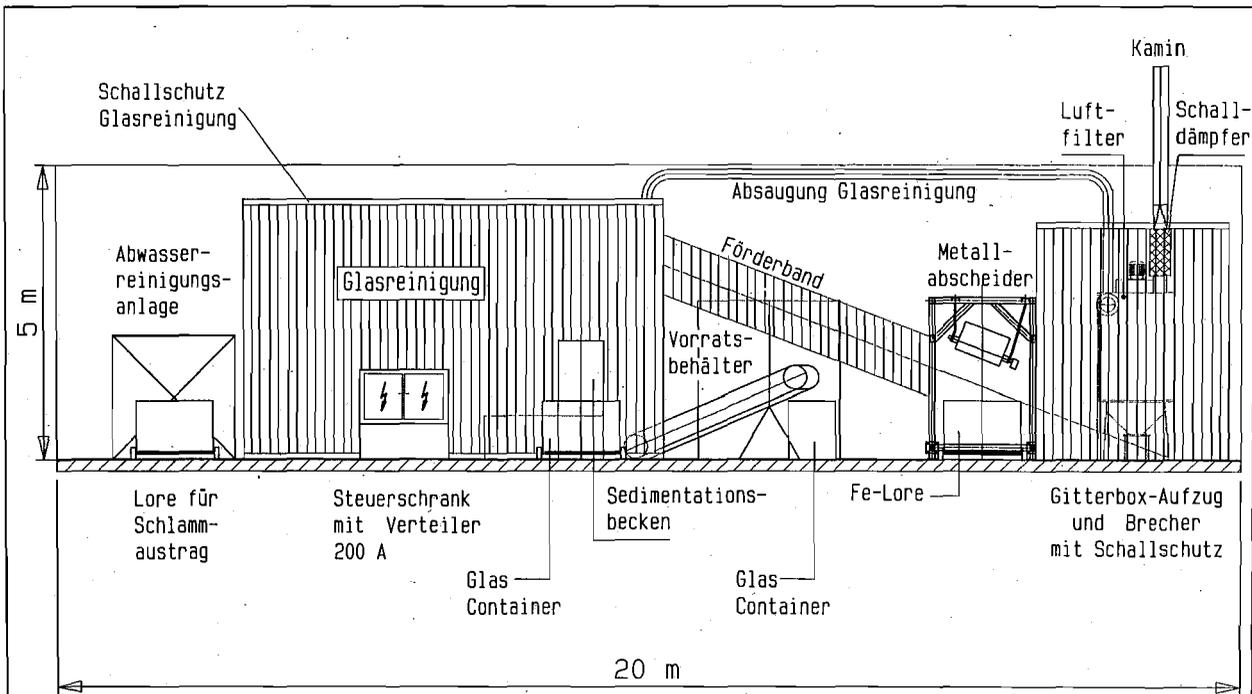
Nachdem somit die Technologien für die Entgiftung von Ausschuß-Bildröhren und Alt-Bildröhren existieren und aufgrund der Ergebnisse im großtechnischen Maßstab als Stand der Technik anzusehen sind, wird gegenwärtig der flächendeckende Einsatz derartiger Anlagen realisiert, um eine weitere Umweltgefährdung durch die in unbehandelten Alt-Bildröhren enthaltenen Giftstoffe zu vermeiden. Die derzeit im In- und Ausland in der Planungs- und Genehmigungsphase befindlichen Züblin-Anlagen bestehen jeweils aus einer technisch identischen Zentraleinheit, die zur Vermeidung von Emissionen praktisch vollständig gekapselt ist (siehe abgebildete Seitenansicht). Individuelle Unterschiede gibt es lediglich bei der Art der Beschickung sowie bei der ebenfalls von Züblin in unterschiedlichen Varianten angebotenen Verfahrenstechnik zur Trennung der Glassorten (Schirm- und Konusglas).

Verfahrensbeschreibung Röhrentrennung

Neben einer nachgeschalteten Trennstufe zur Separierung von Schirm- und Konusglas (siehe Verfahrensflißbild) in eine Fraktion mit ca. 90% Schirmglas-Anteil (bleiarmes Glas) und eine Fraktion Mischglas bietet die Züblin Umwelttechnik auch eine separate, der eigentlichen Recyclinganlage vorgeschaltete Einheit zur Trennung von Bildröhren an. Diese besteht je nach gewünschter Durchsatzleistung aus fünf (150.000 Röhren/a) bis zehn (300.000 Röhren/a) Trennanlagen, die von drei bis sechs Arbeitskräften bedient werden.

Funktionsweise der Trennanlagen:

Die ausgebaute, belüftete und von Spannung und Strahlerzeugereinheit befreite Bildröhre wird in eine geschlossene Box gestellt. Anschließend wird die Röhre auf Höhe justiert. Nach Anbringen und Spannen eines Spezialdrahtes direkt an der Fritte wird dieser durch Stromfluß zeitgesteuert erhitzt. Da Schirm- und Konusglas ein unterschiedliches Ausdehnungsverhalten bei Wärmeeinwirkung haben, gerät die Bildröhre an der Nahtstelle unter mechanische Spannung. Durch einen Trick kann hierbei erreicht werden, daß die Röhre genau an der Fritte reißt. Man erhält auf diese Weise zwei voneinander getrennte Hälften aus Schirm- bzw. Konusglas.



SEITENANSICHT

BILDROHREN-RECYCLING

ZUBLIN UMWELT
TECHNIK

Nach Entnahme des Konusteils kann auch die Lochmaske aus Stahlblech (bei Farbbildröhren) herausgenommen werden. Aus der chargenweise getrennten Beschickung der eigentlichen Bildröhren-Recyclinganlage mit reinem Schirmglas bzw. Konusglas resultiert zusätzlich eine erhöhte Durchsatzleistung, da die Zeiten für Zerkleinerung und Metallabscheidung verkürzt werden.

Perspektiven der Züblin-Technologien

In den nächsten Monaten werden mehrere Anlagen, die mit den beschriebenen Technologien arbeiten, für unterschiedliche Betreiber im In- und Ausland errichtet. Die weitere technische Betreuung einschließlich der Integration von Weiterentwicklungen erfolgt ebenfalls durch die Züblin Umwelttechnik.

3. Verwertungswege für gereinigtes Bildröhrglas

Das schadstoffentfrachtete, d. h. von sämtlichen Beschichtungen befreite Bildröhrglas, das mit den vorstehend beschriebenen Reinigungsverfahren erhalten werden kann, muß, um dem Begriff des Recyclings gerecht zu werden, anschließend für die Produktion vergleichbarer Produkte oder wenigstens an anderer Stelle (sogenanntes Downcycling) wieder verwendet werden.

Grundsätzlich sollte der **Wiedereinsatz des Glases in der Produktion von Bildröhren** als optimales Recycling angestrebt werden. Hierfür ist eine Vereinheitlichung der heute noch vorhandenen Vielfalt an chemisch unterschiedlichen Bildröhrengläsern dringend erforderlich. Für Teilmengen ist diese Möglichkeit jedoch zukünftig zumindest nach vorheriger Sortierung denkbar.

Der weitaus größere Teil wird jedoch, jedenfalls nach dem derzeitigen Forschungsstand bei den Glasherstellern, in anderen Bereichen eingesetzt werden müssen.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bildröhrenglases (Transparenz und Schutz gegen hochenergetische Strahlung) lassen sich am besten in der Herstellung von **Abschirmungen für radioaktive Abfälle** nutzen. Eine Glasstärke von 10 cm entspricht in der Abschwächung von Strahlung einer ca. 1 cm dicken Bleiplatte!

Für sämtliche ansonsten in der Prüfung befindlichen bzw. bereits realisierten Verwertungswege außer dem **Versatz Untertage** (Verfüllung unterirdischer Hohlräume zur Stabilisierung) kann das gereinigte Bildröhrglas nur als **prozentualer Zuschlagstoff** eingesetzt werden. Hier sind insbesondere die **Keramikindustrie** und die **Herstellung anderer Gläser**, die **Bleiverhüttung**, die **Baustoffherstellung**, der **Straßen- und der Deponiebau** als

wichtige Bereiche zu nennen. Auch in diesen Anwendungsgebieten sind neben der Einsparung von Rohstoffen spezielle Materialeigenschaften des Glases von Interesse (Bleigehalt, Schmelz- und Fließigenschaften, Abriebfestigkeit, etc.).

Dr. Stefan Maier
ZÜBLIN
Umwelttechnik
Albstadtweg 1
70567 Stuttgart
Tel.: 0711/7883-279
Telefax: 0711/7883-142

Mechanische Aufbereitung von Leiterplatten

Dipl.-Ing. Thomas Kramer

1. Einleitung

Die moderne Aufbereitungstechnik kann als stoffbezogene Umweltverfahrenstechnik definiert werden.

Stoffbezogen bedeutet hierbei, daß die zu behandelnden Abfallstoffe zunächst hinsichtlich ihrer Stoffunterschiede für die Eignung von Trennprozessen bzw. Trennverfahren charakterisiert werden. Solche relevanten Stoffeigenschaften sind zum Beispiel:

- Korngröße und Kornform,
- Zerkleinerungsverhalten,
- Dichteunterschiede,
- magnetische Eigenschaften,
- elektrische Eigenschaften,
- optische Eigenschaften.

Für die Aufbereitung von Leiterplattenschrott gibt es grundsätzlich drei Verfahrensansätze:

- trockene Verfahren bzw. mechanische Aufbereitung,
- nasse Verfahren bzw. chemische oder hydrometallurgische Verfahren,
- thermische Verfahren bzw. pyrometallurgische Aufbereitung.

Im Rahmen dieses Vortrages wird nur auf die mechanische Aufbereitung von Leiterplatten eingegangen. Dabei werden keine Anlagen oder Verfahrenskonzepte von Industriefirmen vorgestellt, sondern Ergebnisse und Untersuchungen von Aufbereitungsmöglichkeiten und -aggregaten diskutiert, die am Institut für Aufbereitung der RWTH - Aachen durchgeführt wurden.

Die trockene Leiterplattenaufbereitung läßt sich in folgende Verfahrensschritte unterteilen:

- **Zerkleinerung**, d.h. zerteilen von festen Stoffen durch Überwindung der Bindungskräfte an den entstehenden Trennflächen unter Beibehaltung des Aggregatzustandes und ohne große Veränderung der wesentlichen physikalischen Eigenschaften.
- **Klassierung**, d.h. Trennung nach der Korngröße.
- **Sortierung**, d.h. Trennung nach stofflichen Eigenschaften.

2. Eingangsanalytik

Wie bereits eingangs erwähnt, ist eine genaue Kenntnis über die Zusammensetzung und wichtige Eigenschaften des aufzubereitenden Stoffsystems von großer Bedeutung. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Metalle und deren Gehalte im Platinenschrott aufgezeigt. Es handelt sich hierbei um Leiterplatten aus dem EDV-Bereich, die zunächst nach optischen Kriterien in möglichst gleiche Proben unterteilt wurden und anschließend mit Hilfe der Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP) bezüglich ihrer Metallgehalte analysiert wurden.

	Aluminium [Gew.-%]	Kupfer [Gew.-%]	Eisen [Gew.-%]	Gold [Gew.-%]	Silber [Gew.-%]	Zinn [Gew.-%]	Zink [Gew.-%]	Blei [Gew.-%]
Probe 1	1,98	2,99	3,72	0,06	0,08	6,35	-	-
Probe 2	1,23	17,40	11,36	0,03	0,14	6,60	0,40	3,02
Probe 3	2,09	11,56	5,65	0,02	0,12	3,66	1,65	2,53
Probe 4	2,54	16,35	7,70	0,03	0,08	4,16	0,82	3,55
Probe 5	0,99	26,20	5,21	0,04	0,06	5,43	1,02	2,40
Mittelwert	1,77	14,90	6,73	0,04	0,10	5,24	0,97	2,88
Literatur	1,00	12 - 25	5 - 10	0,04	0,30	2,00	0,30	1 - 5

Abb. 1: Metallgehalte des Platinenschrottes

Wie aus der Tabelle ersichtlich, variieren die einzelnen Metallgehalte der einzelnen Proben trotz der sorgfältigen Probenteilung und -vorbereitung enorm. Die Mittelwerte hingegen lassen sich recht gut mit den in der Literatur angegebenen Werten vergleichen. Aus den Analyseergebnissen wird deutlich, daß es sich bei dieser Abfallart um ein äußerst inhomogenes Stoffgemisch mit stark schwankender Materialzusammensetzung handelt. Diese Stoffin-

homogenitäten stellen das eigentliche Problem für ein vollständiges stoffliches Recycling dar.

3. Zerkleinerung

3.1. Ermittlung von Werkstoffkennwerten

Ziel der Zerkleinerungsuntersuchungen war es, durch Untersuchungen zum Zerkleinerungsverhalten eine Optimierung des Aufschlußgrades zu ermöglichen. Hierunter sind das Auflösen von Stoffverbunden und die Herstellung eines Stoffsystems mit einer günstigen Kornzusammensetzung für eine anschließende Sortierung zu verstehen.

Zu Beginn der Untersuchungen wurden die Werkstoffkennwerte Schlagfestigkeit, Druckfestigkeit, Biegefestigkeit und Kerbschlagzähigkeit für einzelne elektronische Bauteile (IC's, Stecker und Steckverbindungen) sowie bestückte und unbestückte Leiterplatten ermittelt. Hierbei würde der Einfluß unterschiedlicher Beanspruchungsrichtungen berücksichtigt.

Da die Kunststoffe aufgrund ihrer hervorragenden elektrischen Eigenschaften Verwendung in der Elektroindustrie finden und den größten Anteil an der stofflichen Zusammensetzung der Leiterplatten ausmachen, dienten die Normen der Kunststoffprüfung als grobe Orientierungshilfe bei der Ermittlung der Werkstoffkennwerte. Die Probenahme warf erste Probleme bezüglich der Analyse der Inhaltstoffe auf. Trotz verschiedener Eigenschaften sind sich die Kunststoffe in ihrer äußeren Erscheinungsform sehr ähnlich und im allgemeinen schwierig voneinander zu unterscheiden. Eine exakte Bestimmung ist nur nach ihrer chemischen Beschaffenheit möglich. Weiterhin verwenden die Gerätehersteller eine Reihe von Kunststoffsorten und -typen in gleichen Anwendungsbereichen. Eine Sortierung der Bauteile in gleiche Materialfraktionen erfolgte nach optischen Gesichtspunkten.

Eine mit elektronischen Bauteilen bestückte Leiterplatte stellt ein Vielstoffgemisch aus den Komponenten Metall, Metallverbindungen, Glas, Keramik und nicht zuletzt einer Vielzahl verschiedener Kunststoffe dar. Die eigentliche Leiterplatte wird aus Schichtpreßstoffen oder GFK-Laminaten hergestellt.

Unbestückte und mit elektronischen Bauteilen bestückte Leiterplatten wurden auf Zug-, Biege- und Schlagfestigkeit untersucht. Auffallend stark trat die Abhängigkeit der geprüften Eigenschaften von der Beanspruchungsdauer und der Temperatur in Erscheinung (siehe Abb. 2).

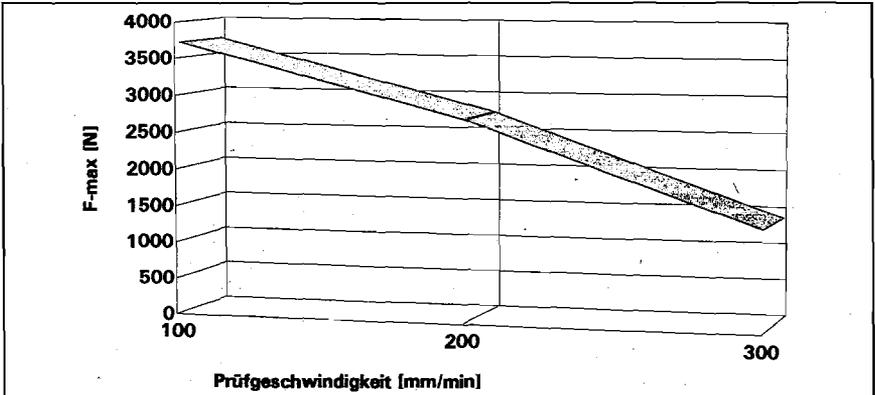


Abb. 2: Zugfestigkeit einer Leiterplatte als Funktion der Prüfgeschwindigkeit

Die relativ geringen Schlagenergien, welche zur Zerstörung der Proben in den Schlagversuchen benötigt wurden, dokumentieren den spröden Charakter der Leiterplatten. Unterschiede in der Beanspruchungsrichtung und der stabilisierende Effekt einer Bestückung der Leiterplatte mit elektronischen Bauteilen zeigte sich deutlich im Biegeversuch.

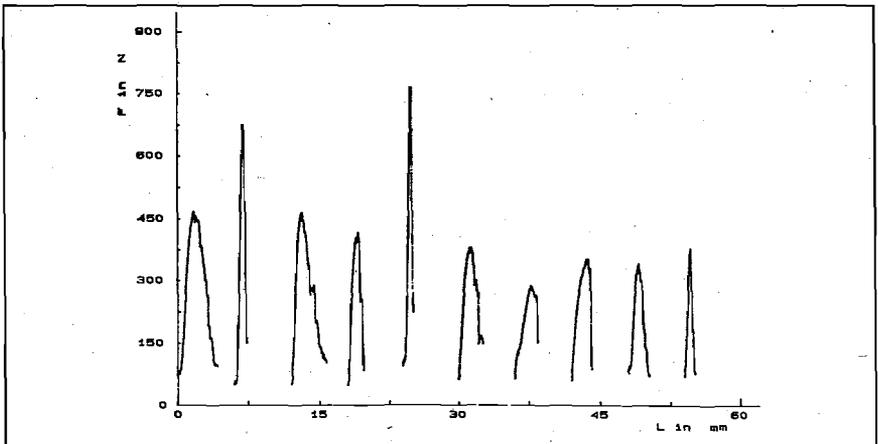


Abb. 3: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Biegeversuches an unbestückten Leiterplatten rechtwinklig zur IC-Bestückung

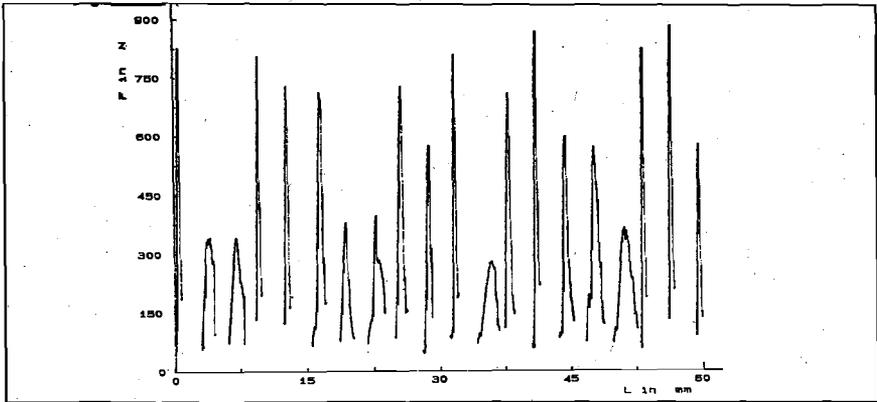


Abb.4: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Biegeversuches an unbestückten Leiterplatten parallel zur IC-Bestückung

Speicherbausteine verschiedener Größen aus Kunststoff und Keramik wurden auf Druck-, Biege-, und Schlagfestigkeit untersucht. Relativ hohe Druck- und geringe Biegefestigkeiten, sowie die Unfähigkeit mechanische Spitzenbelastungen durch lokale plastische Verformung abzubauen, weisen auf das spröde Materialverhalten der Speicherbausteine hin.

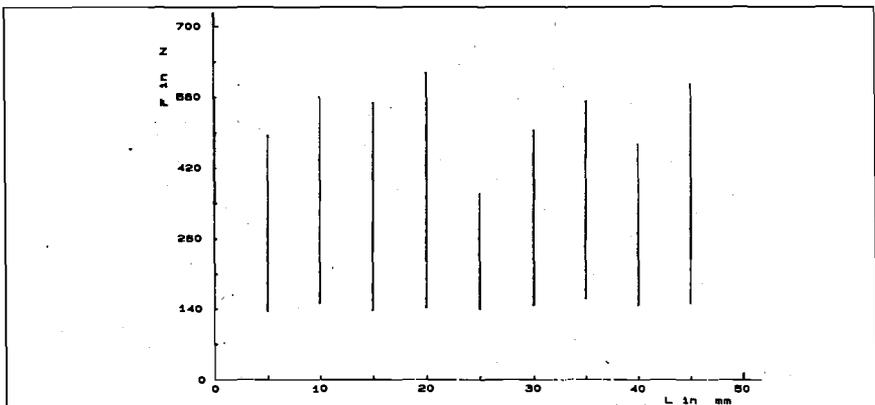


Abb. 5: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Biegeversuches von Speicherbausteinen aus Kunststoff (sprödes Werkstoffverhalten)

An Steckern und Steckverbindungen wurden ebenfalls Druck-, Biege- und Schlagfestigkeitsuntersuchungen durchgeführt. Hierbei konnte für Metallstecker das typische duktile

Werkstoffverhalten festgestellt werden, während Kunststoffstecker deutliches Spröbruchverhalten aufwiesen (Abb. 6).

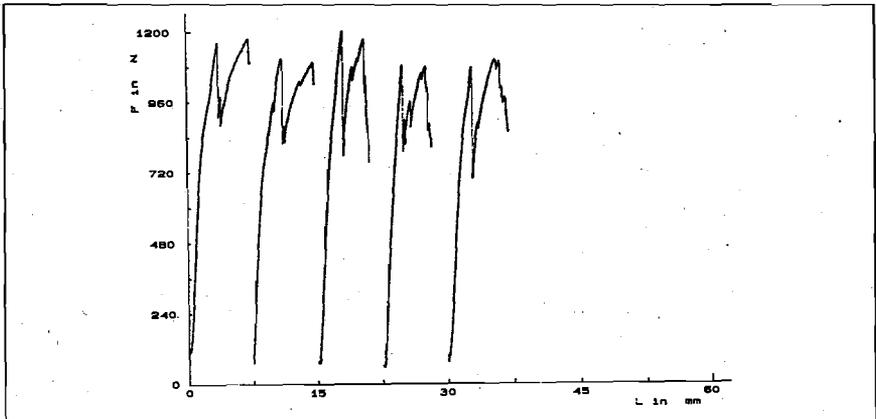


Abb. 6: Spannungs-Dehnungs-Diagramm des Biegeversuches der Kunststoffsteckverbindungen.

Aufgrund der hohen Druckfestigkeiten stellt die mechanische Zerkleinerung mit vorherrschender Druckbeanspruchung ein wenig erfolgversprechendes Verfahren dar. Wegen ihrer Neigung zum Spröbruch eignen sich für diese Materialfraktionen Zerkleinerungsverfahren mit vorherrschender Schlag- und Prallbeanspruchung.

Probleme können bei den Kunststoffwerkstoffen aus dem Bereich der Plastomere auftreten, da diese teilweise hochelastisch und flexibel sind. Eine merkliche Veränderung ihres Verhaltens bewirken sehr tiefe Temperaturen, da Plastomere bei Abkühlung auf -50°C so stark verspröden, daß sie ein glasähnliches Zerkleinerungsverhalten aufweisen.

3.2. Zerkleinerungsversuche

Aufgrund der werkstofflichen Untersuchungen ist der Einsatz von Prall- bzw. Hammermühlen wegen ihrer guten Aufschlußwirkung durch bevorzugte Zerkleinerungswirkung an den Korngrenzen und ihrem hohen Zerkleinerungsgrad bei relativ geringem Energieverbrauch empfehlenswert.

Im folgenden werden die Ergebnisse und Unterschiede aus Versuchen zweier Zerkleinerungsaggregate dargestellt, deren Zerkleinerungswirkung auf Schlag- und Prallbeanspruchung beruht.

3.2.1. Zerkleinerung in einer Prallmühle

Die Prallzerkleinerung erfolgt bei hoher Geschwindigkeit durch Massenkräfte an einer Arbeitsfläche. Bild 7 zeigt schematisch eine Prallmühle, bestehend aus einem durch Schleißbleche geschützten Gehäuse (a), einem Rotor (b) mit Schlagleisten (c) und verstellbaren Prallplatten (d), die zum Vermeiden von Brüchen beim Eintritt von Fremdkörpern mechanisch oder hydraulisch abgedeutet werden. Das zu zerkleinernde Gut wird von den Schlagleisten erfaßt, gegen die Prallplatten geschleudert und dabei zerkleinert. Entscheidend für den Zerkleinerungserfolg ist die Aufprallgeschwindigkeit des Materials, sowie dessen durch die Werkstoffeigenschaften bestimmten Verhaltens. Spröde Materialien werden besonders gut zerkleinert, während duktile oder elastische Stoffe, wenn überhaupt, nur eine Formänderung erfahren.

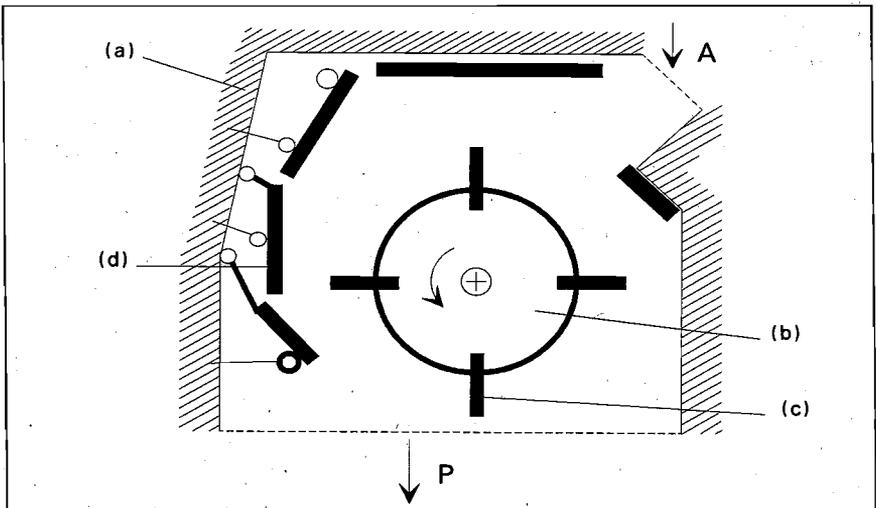


Abb. 7: Skizze einer Prallmühle

In Abb. 8 sind die Ergebnisse der Zerkleinerung, nach zweimaliger Materialaufgabe in die Mühle, dargestellt. Zur Beurteilung des Zerkleinerungserfolges wurde eine Siebklassierung des zerkleinerten Produktes vorgenommen.

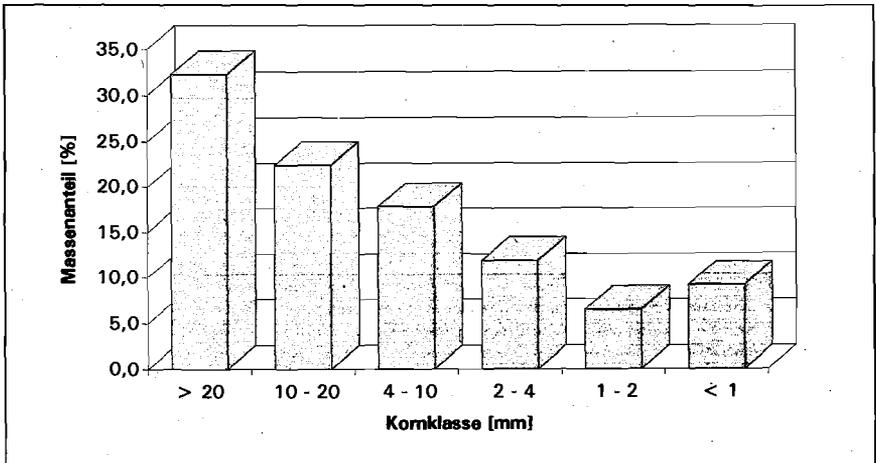


Abb. 8: Kornverteilung der Prallmühlenerkleinerung

Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß über 50 Gew.-% des Materials gröber als 10 mm sind. Teilweise konnten noch völlig unzerkleinerte Bauteile im Produkt festgestellt werden. Die Beanspruchung in der Prallmühle führte nicht zu dem erforderlichen Aufschlußgrad des Materials, daher ist dieses Zerkleinerungsaggregat für Leiterplatten nicht geeignet.

3.2.2. Zerkleinerung in einer Hammermühle

Die den Prallmühlen ähnlichen Hammermühlen bestehen nach Abbildung 9 ebenfalls aus einem mehrteiligen, mit Panzerplatten ausgekleideten, geschweißten Gehäuse und ein bis zwei darin angeordneten Rotoren, die zur Vermeidung von Überkom meist in der unteren Arbeitsrauhälfte mit einem Rost umgeben sind. Die mit hoher Umfangsgeschwindigkeit laufenden Rotoren besitzen im Gegensatz zu den Prallmühlen gelenkig angeordnete Schläger, die während des Betriebes durch die entstehenden Zentrifugalkräfte eine radiale Schlagstellung einnehmen. Bei entsprechender Hammermasse und Rotordrehzahl behalten die Hämmer bei normaler Zerkleinerungsarbeit ihre gestreckte Lage bei und schwenken nur bei großen Aufgabestücken bzw. bei harten unbrechbaren Körpern aus der gestreckten Lage aus. Das dem Arbeitsraum zugeführte Gut wird sowohl durch Schlag-, als auch durch Prall- und Scherbeanspruchung zerkleinert.

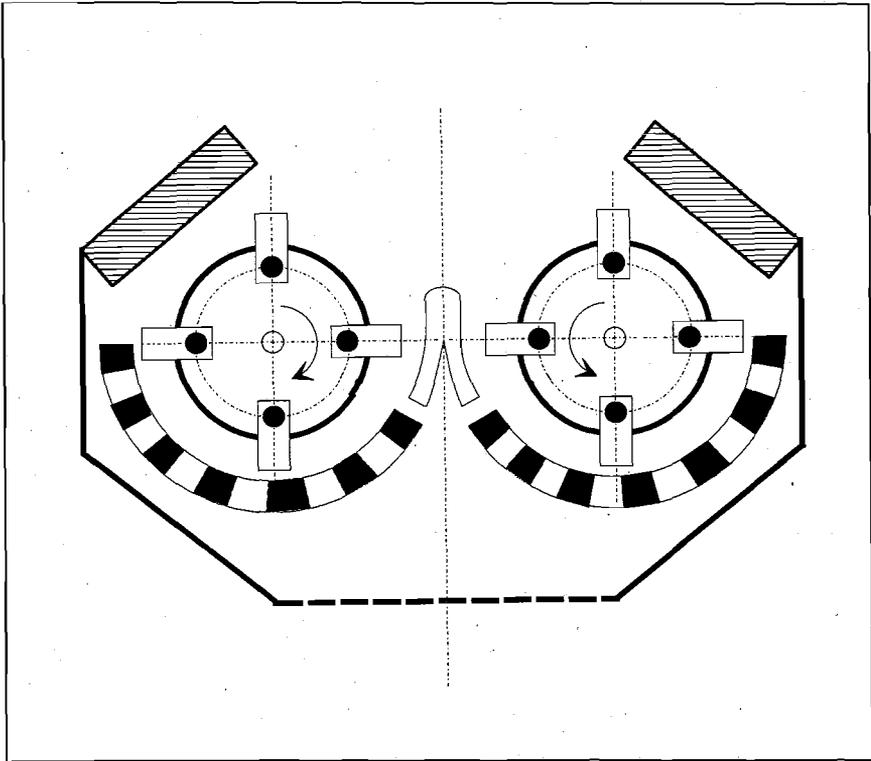


Abb.9: Skizze einer Doppelwellenhammermühle

Für die Zerkleinerung der Leiterplatten wurde eine Doppelwellenhammermühle mit gegenläufigen Rotoren eingesetzt, zwischen denen eine Profilstahlbrücke als "Amboß" eingesetzt ist. Der Austragssiebbelag hatte eine Lochweite von 3 mm. Das zu zerkleinernde Material wurde dadurch solange im Mahlraum beansprucht, bis es durch die Sieböffnungen gelangen konnte. Größere Metallteile wie zum Beispiel Kühlbleche oder Kupferspulen wurden durch die Schlagwirkung der Hämmer zu Kügelchen von etwa 3 mm Durchmesser verformt. In Abb. 10 sind die Ergebnisse der Siebklassierung der zerkleinerten Leiterplatten aufgeführt.

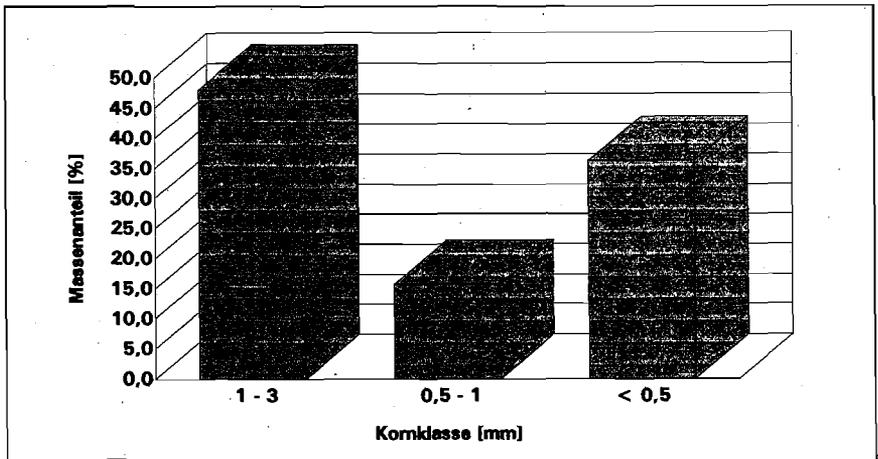


Abb. 10: Kornverteilung der Hammermühlengerkleinerung

Im Gegensatz zur Zerkleinerung in der Prallmühle wurde der geforderte Aufschlußgrad bei einmaliger Aufgabe erreicht. Es konnten im zerkleinerten Produkt keine Werkstoffverbunde oder unzerkleinerte elektronische Bauteile festgestellt werden.

Die Zerkleinerungsuntersuchungen zeigen deutlich, daß der für die spätere Sortierung erforderliche hohe Aufschlußgrad nur durch die Kombination von Schlag-, Prall- und Scherbeanspruchung in einer Hammermühle erreicht werden kann.

3.3 Kryotechnische Zerkleinerung

Da besonders die Plasto- und Elastomere ein sprödes Werkstoffverhalten bei tiefen Temperaturen aufweisen, wurden neben der Untersuchung einzelner Zerkleinerungsaggregate Versuche zur Tieftemperatur- bzw. Normaltemperaturzerkleinerung in einer Laborhammermühle durchgeführt. Hierzu wurden bestückte und unbestückte Leiterplatten, IC's, Steckverbindungen und andere Bauteile bei verschiedenen Austragssiebelagen und Mahldauern jeweils nach Kühlung in flüssigem Stickstoff (-196°C) sowie bei Raumtemperatur zerkleinert.

Bemerkenswert ist, daß so gut wie keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Verfahrensweisen festzustellen waren. Zur Verdeutlichung dieses Phänomens sind in Abb. 11 die Ergebnisse der Zerkleinerung von mit Kunststoff-IC's bestückten Leiterplatten bei Normal- und Tieftemperatur gegenübergestellt.

Kornklasse [mm]	Normaltemperatur [Gew.-%]	Tieftemperatur [Gew.-%]
> 4	0,11	0,13
3,15 - 4	1,87	1,12
2 - 3,15	17,39	17,66
1 - 2	33,85	33,77
0,5 - 1	16,49	16,25
< 0,5	30,30	30,97
Summe	100	100

Abb. 11: Kalt- bzw. Normaltemperaturzerkleinerung von Leiterplatten
(Austragssiebbelag 5 mm; Mahldauer 30 s)

Bei einer Zerkleinerung von Leiterplatten in einer Hammermühle mit vornehmlicher Schlagbeanspruchung bringt die Tieftemperaturbehandlung keine Vorteile. Durch den hohen Energieeintrag in das zu zerkleinernde Gut können keine Unterschiede zwischen vorangehender Tieftemperaturbehandlung bzw. Normaltemperaturbehandlung festgestellt werden. Es ist aber durchaus denkbar, daß bei der Zerkleinerung mit einer anderen Beanspruchungsart (z.B. Prall) das Verspöden des Aufgabematerials durch flüssigen Stickstoff vorteilhaft wäre.

4. Klassierung und Korn-Wertstoffverteilung

Im Anschluß an die Zerkleinerung schließt sich im allgemeinen eine Klassierung an. Diese ist wichtig, da sich eine enge Kornspanne in der Aufgabe der Sortieraggregate günstig auf die Konzentratqualität auswirkt. So können zum Beispiel bei einer Dichtesortierung große Kornunterschiede zu Überlagerungseffekten führen. Große Kunststoffteilchen verhalten sich dann wie kleinere Metallteilchen und mindern die Konzentratqualität.

Die Klassierung kann außerdem eine Voranreicherung bestimmter Stoffe in den einzelnen Kornklassen zur Folge haben. An dieser Stelle sei noch einmal auf den selektiven Zerkleinerungseffekt in der Hammermühle hingewiesen, in der duktile Metallteile durch die Schlagwirkung der Hämmer eine kugelförmige Gestalt von der Größe des Austragssiebbelages annehmen, während spröde Materialien feinstkörnig aufgemahlen wurden.

Für die anschließende Sortierung erwies es sich als vorteilhaft, das zerkleinerte Material in die Kornklassen größer 1 mm, 0,5 - 1 mm sowie kleiner 0,5 mm aufzuteilen. In den Abbil-

dungen 12 - 14 sind die Gehalte und das Ausbringen der Metalle in Abhängigkeit der Korngröße aufgeführt.

Korngröße [mm]	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
> 1	47,33	70,50	81,16	71,96	46,42	65,48	83,50	62,05
0,5 - 1	13,16	16,76	6,89	10,54	15,03	12,50	6,79	12,60
< 0,5	39,51	12,74	11,95	17,50	38,55	22,02	9,70	25,35
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100

Abb. 12: Massenausbringen in den Kornklassen

Korngröße [mm]	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
> 1	1,28	10,86	6,22	0,02	0,04	3,06	0,77	1,70
0,5 - 1	0,35	2,54	0,53	0,00	0,01	0,58	0,06	0,35
< 0,5	1,06	1,95	0,92	0,01	0,03	1,01	0,09	0,70
Summe	2,69	15,35	7,67	0,03	0,08	4,65	0,92	2,75

Abb. 13: Metallgehalte in den Kornklassen

Korngröße [mm]	Anteil [%]
> 1	48,05
0,5 - 1	15,68
< 0,5	36,27
Summe	100

Abb. 14: Massenbilanz

Die Tabellen belegen, daß in der Kornklasse > 1 mm die höchsten Werte sowohl für das Ausbringen als auch die Gehalte der Wertstoffe erreicht werden. Auch in der Kornklasse zwischen 0,5 und 1 mm sind noch nennenswerte Gehalts- und Ausbringenswerte zu verzeichnen, während die Wertstoffe in der Kornklasse < 0,5 mm deutlich abgereichert sind.

Die Ergebnisse zeigen, daß das Ziel einer Anreicherung von Metallen durch geeignete Trennschnitte der Klassierung erreicht wurde.

5. Dichteanalyse und Dichte-Wertstoffverteilung

Die Dichteanalyse wurde für die bereits erwähnten drei Kornklassen (> 1 mm, $0,5-1$ mm, < 1 mm) in den Dichtestufen < 2 g/cm³, $2,0$ g/cm³ - $2,3$ g/cm³, $2,3$ g/cm³ - $2,5$ g/cm³ und $> 2,5$ g/cm³ durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abbildung 15 dargestellt.

Deutlich festzustellen ist der große Dichtesprung des Materials zwischen < 2 g/cm³ und $> 2,5$ g/cm³. Diese auffallend großen Dichteunterschieden führen bei einer Dichtesortierung der zerkleinerten Leiterplatten zu hochreinen Metall- und Kunststoffkonzentraten.

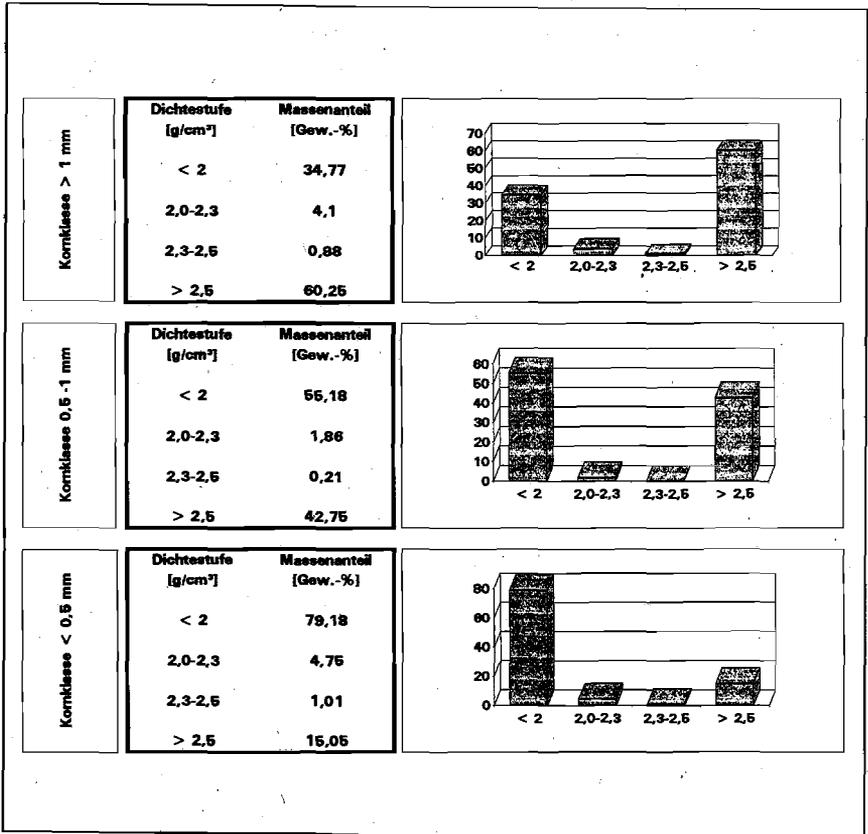


Abb. 15: Dichteanalyse des Platinschrottes

Die Dichte-Wertstoffverteilung für die Kornklasse > 1 mm ist in den Abbildungen 16 - 18 aufgeführt. Man erkennt, daß die relevanten Metalle nahezu vollständig in der Dichtestufe > 2,5 g/cm³ ausgebracht werden. Die einzige Ausnahme bildet das Aluminium. Das ist damit zu erklären, daß das Aluminium zum Teil als dünne Bedampfung auf Kunststoffolien vorlag und mit diesen in der Dichtestufe < 2,0 g/cm³ ausgebracht wurde.

Dichtestufe [g/cm ³]	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
< 2	33,88	0,51	20,3	3,69	6,29	0,45	1,66	0,54
2,0 - 2,3	0,74	0,87	0,01	3,06	0,13	0,22	0,07	0,11
2,3 - 2,5	11,24	1,00	0,08	1,89	1,00	0,26	0,12	0,15
> 2,5	54,14	97,61	97,88	91,36	92,58	99,08	98,15	99,20
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100

Abb. 16: Massenausbringen in den Dichtestufen

Dichtestufe [g/cm ³]	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
< 2	0,65	0,11	0,13	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01
2,0 - 2,3	0,01	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,3 - 2,5	0,21	0,23	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
> 2,5	1,14	22,89	8,97	0,03	0,09	4,40	1,43	3,13
Summe	2,01	23,43	9,10	0,03	0,09	4,43	1,45	3,14

Abb. 17: Metallgehalte in den Dichtestufen

Dichtestufe [g/cm ³]	Anteil [%]
< 2	34,77
2,0 - 2,3	4,10
2,3 - 2,5	0,88
> 2,5	60,25
Summe	100

Abb. 18: Massenbilanz

6. Sortierung

6.1 Magnetscheidung

Eine Magnetsortierung kann dort eingesetzt werden, wo die Einsatzstoffe aufgrund ihrer magnetischen Suszeptibilität verschieden stark magnetisiert werden können. In der Praxis werden Magnetscheider hauptsächlich zum Ausscheiden ferromagnetischer Materialien benutzt, um nachfolgende Maschinen zu schützen. Die Abbildung 19 zeigt das Prinzipbild eines Permanentmagnetscheiders.

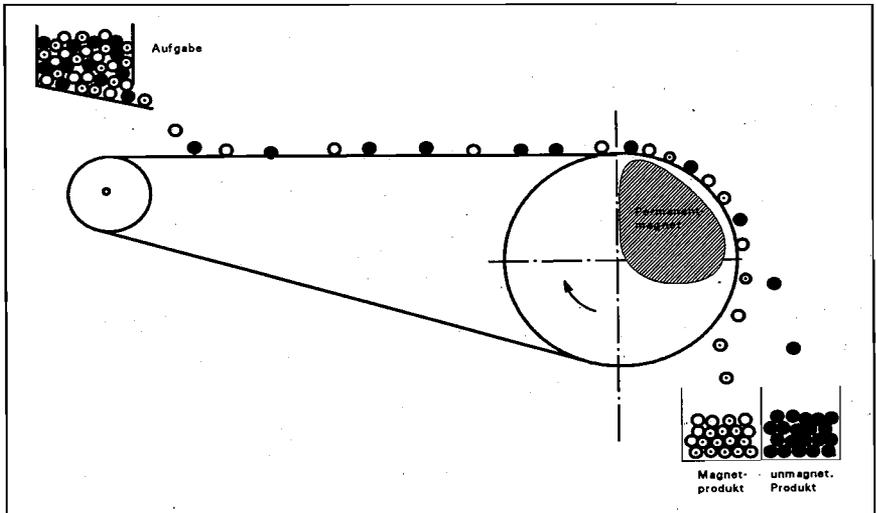


Abb. 19: Skizze eines Permanentmagnetscheiders

Das Gerät besteht aus einer umlaufenden Trommel mit feststehendem Permanentmagneten. Auf die rotierende Trommel wird das Aufgabegut über eine Vibrorinne aufgegeben. Die nichtmagnetischen Bestandteile werden von der Trommel abgeworfen, während die magnetisierbaren Bestandteile solange an der Trommel haften bleiben, bis der Bereich des Permanentmagneten verlassen wird. Beide Produkte werden in Behältern aufgefangen. Unmagnetische Teilchen können auch ins Magnetprodukt gelangen, wenn sie zum Beispiel an magnetischen Partikeln haften oder von diesen eingeschlossen werden. Wegen derartiger Fehlausträge müssen die zunächst gewonnenen Konzentrate fast immer nachgereinigt werden.

In Abb. 20 sind die Ergebnisse der Magnetscheidung der Kornklasse > 1 mm dargestellt. Es ist klar zu erkennen, daß das Eisen nahezu vollständig in das Magnetkonzentrat gelangt.

Unmagnetische Metalle wie z.B. Kupfer, Zink und Aluminium werden im unmagnetischen Produkt ausgebracht. Das Ausbringen der Edelmetalle im Magnetprodukt lässt sich durch die Versilberung oder Vergoldung von Eisenteilen erklären. Der Austrag von Blei und Zinn im magnetischen Konzentrat ist durch an den Eisenteilen anhaftende Lötverbindungen erklärbar. Insgesamt teilt sich die Aufgabe zu ca. 27 Gew.-% in ein magnetisches und zu etwa 73 Gew.-% in das unmagnetische Produkt auf.

	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
unmagnetisch	99,35	93,13	0,76	53,19	67,44	59,15	96,96	58,26
magnetisch	0,65	6,87	99,24	46,81	32,56	40,85	3,04	41,74
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100

Abb. 20: Massenausbringen der Magnetscheidung

6.2 Elektrosortierung

Die Elektrosortierung kann bei Stoffgruppen eingesetzt werden, deren Oberflächen in einen elektrisch unterschiedlichen Zustand gebracht werden können. Die Sortiersversuche wurden mit einem Koronawalzenscheider durchgeführt, dessen Aufbau in Abbildung 21 dargestellt ist. Über die Aufgabevorrichtung werden die Körner einem Sprühfeld (Koronafeld) zugeführt, in dem sie einem kräftigen Ionenstrom ausgesetzt sind. Dort werden sie unabhängig von ihren stofflichen bzw. elektrischen Eigenschaften gleichsinnig aufgeladen. Nach Verlassen des Sprühfeldes entladen sich die Teilchen differentiell nach ihren elektrischen Leitfähigkeiten. Körner mit hoher Leitfähigkeit werden von der Walze abgestoßen, Körner mit geringer Leitfähigkeit bleiben an der Walze haften und werden abgebürstet.

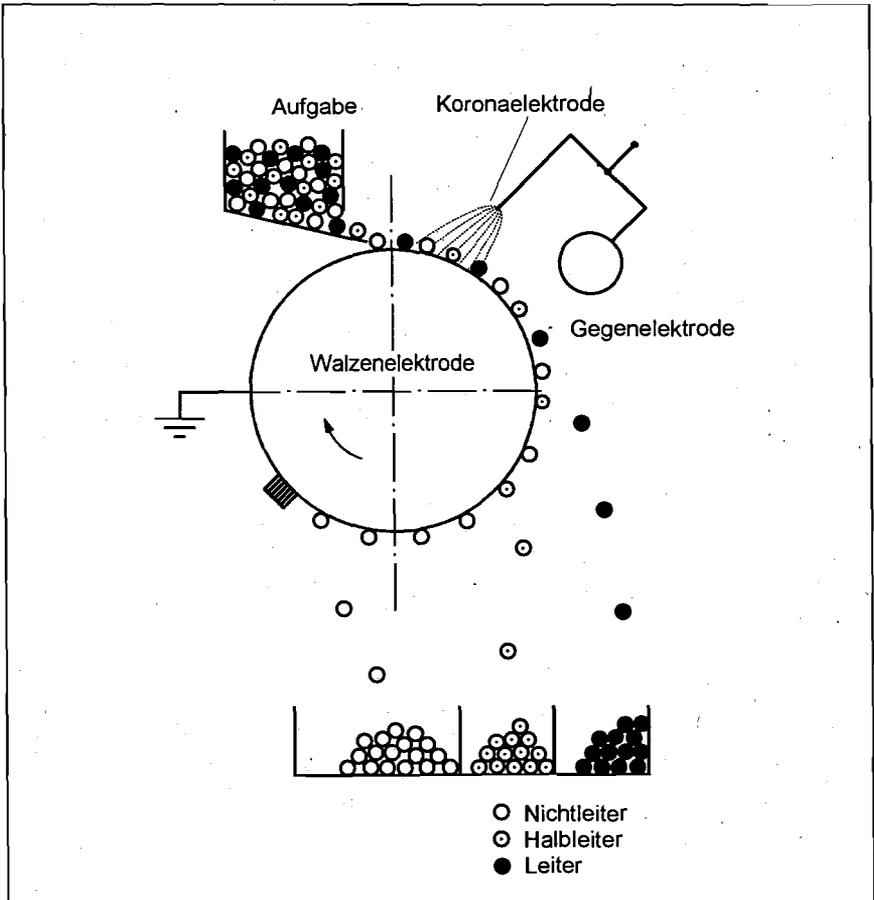


Abb. 21: Skizze eines Koronawalzenseiders

Die Ergebnisse der Elektrosortierung sind in den Abbildungen 22 - 25 zusammengefaßt. Für die Kornklasse > 1 mm wurde ein Ausbringen an Wertstoffen im Konzentrat von 80 - 95 %, bei einem Konzentratanteil von etwa 60 Gew.-% der Aufgabe erreicht. Bei der Kornklasse 0,5 - 1 mm lag das Metallausbringen im Konzentrat bei 70 - 90 % bei einem Konzentratanteil von 30 Gew.-% der Aufgabe. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Sortierung mit einem Elektrowalzenseider ein Sortierverfahren von hoher Trennschärfe für den Elektronikschrott darstellt.

	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
Berge	24,21	2,80	1,02	5,93	13,31	0,65	1,09	0,73
Mittelgut	4,00	8,49	4,28	20,55	10,90	5,47	15,71	4,70
Konzentrat	71,79	88,71	94,70	73,52	75,80	93,88	83,21	94,57
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100

Abb. 22: Elektrosortierung der Kornklasse > 1 mm (Massenausbringen in %)

	Anteil [%]
Berge	28,53
Mittelgut	13,38
Konzentrat	58,09
Summe	100

Abb. 23: Massenbilanz der Elektrosortierung (Kornklasse > 1 mm)

	Al [%]	Cu [%]	Fe [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
Berge	58,05	6,23	9,68	21,92	25,79	3,26	10,45	5,04
Mittelgut	6,03	8,25	5,05	9,33	10,85	7,06	4,80	6,56
Konzentrat	35,92	85,52	85,27	68,74	63,36	89,68	84,74	88,40
Summe	100	100	100	100	100	100	100	100

Abb. 24: Elektrosortierung der Kornklasse 0,5 - 1 mm (Massenausbringen in %)

	Anteil [%]
Berge	65,28
Mittelgut	4,76
Konzentrat	29,96
Summe	100

Abb. 25: Massenbilanz der Elektrosortierung (Kornklasse 0,5 - 1 mm)

Die Sortierung durch Wirbelstromscheidung beruht auf der Induktion von Wirbelströmen in elektrisch leitenden Körpern, die dadurch eine Kraftwirkung in einem Magnetfeld erfahren. Die Wirbelströme entstehen, wenn ein Leiter sich in einem zeitlich oder räumlich sich ändernden Magnetfeld befindet oder darin bewegt wird. Nach der Lenz'schen Regel ist das Magnetfeld um einen elektrischen Leiter, der aufgrund einer induktiven Wirkung von einem Strom durchflossen wird, dem primären Feld entgegengerichtet. Dabei wird eine Kraft auf den Leiter ausgeübt, die ihn aus dem Ursprungsfeld herausbeschleunigt. Entscheidend für die Wirbelstromscheidung sind die folgenden stofflichen Einflußgrößen:

- Korngröße: Es ist ein Mindestkomdurchmesser zur Ausbildung eines Wirbelstromes erforderlich ($> 1 \text{ mm}$)
- Kornform: In kubischen oder runden Partikeln bilden sich Wirbelströme besser aus als in flachen oder stengeligen Teilchen.
- Dichte: Die Dichte bedingt die Abwurfbahn des Teilchens.
- Widerstand bzw. spezifische Leitfähigkeit.

Die Versuche zur Separation der NE-Metalle aus dem Leiterplattenschrott mit Hilfe der Wirbelstromscheidung wurden auf einem Laborscheider durchgeführt (Abb. 26). Das Material wird auf ein flaches Förderband (a) aufgegeben, das eine Trommel (b) umschlingt. Innerhalb der Trommel dreht sich sehr schnell eine rundum mit Magneten besetzte Walze (c). Nichtmetallisches Gut fällt in der normalen Wurfparabel ab, metallisches Gut wird durch das sich aufbauende, induzierte Magnetfeld aus der normalen Flugbahn abgelenkt und separat aufgefangen.

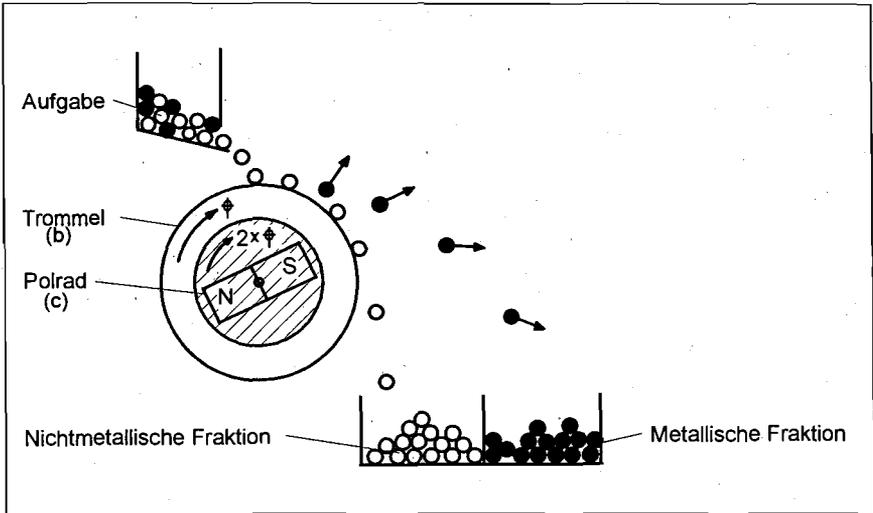


Abb. 26: Skizze eines Wirbelstromscheiders

In den folgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Wirbelstromscheidung für die Kornklasse größer 1 mm aufgeführt.

	Al [%]	Cu [%]	Au [%]	Ag [%]	Sn [%]	Zn [%]	Pb [%]
Nichtleiter	23,51	2,50	4,92	12,41	0,55	1,03	0,72
Leiter	76,49	97,50	95,08	87,59	99,45	98,97	99,28
Summe	100	100	100	100	100	100	100

Abb. 27: Wirbelstromscheidung der Kornklasse > 1 mm (Massenausbringen in %)

	Anteil [%]
Nichtleiter	35,84
Leiter	64,16
Summe	100

Abb. 28: Massenbilanz der Wirbelstromscheidung (Kornklasse > 1 mm)

In Abbildung 29 ist das Schema einer Dichtesortieranlage, auch Schwimm-Sink-Scheidung genannt, dargestellt. Die Dichtesortierung wird häufig dort eingesetzt, wo große Dichteunterschiede im Aufgabematerial für die Trennung der Stoffe ausgenutzt werden können. Mit Hilfe geeigneter Schwerstoffe (z.B. Magnetit oder Ferrosilizium) wird die Trenndichte der Trübe eingestellt. Die Stoffe mit geringerer Dichte schwimmen auf und werden abgepaddelt, während schwerere Bestandteile absinken und im Austrag abgezogen werden.

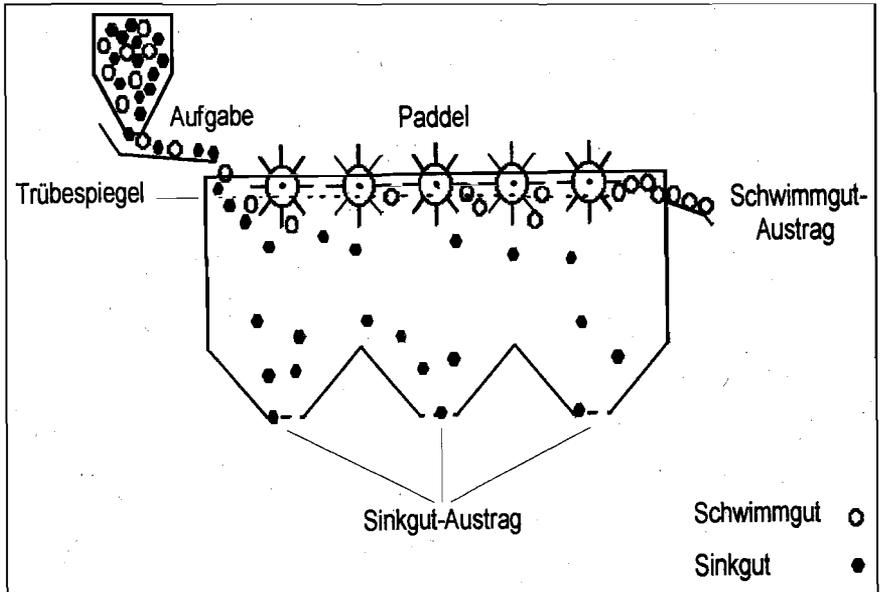


Abb. 29: Skizze eines Schwimm-Sink-Scheiders

Die Dichteanalyse (siehe Kap. 5) hat gezeigt, daß der zerkleinerte Leiterplattenschrott für alle Kornklassen einen deutlichen Dichtesprung zwischen $< 2 \text{ g/cm}^3$ und $> 2,5 \text{ g/cm}^3$ aufweist. Mit Hilfe der Schwimm-Sink-Scheidung kann also bei einer Trenndichte von z.B. $2,3 \text{ g/cm}^3$ ein hochreines Mischmetallkonzentrat gewonnen werden. Nachteile dieses Verfahrens sind die hohen Kosten, die durch die aufwendige Dichteregulierung und Schwerstoffrückgewinnung verursacht werden.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen des Vortrages wurden Möglichkeiten zur mechanischen Aufbereitung von Leiterplatten vorgestellt. Hierbei sind neben einer genauen Kenntnis relevanter Stoffparameter, die Zerkleinerung, Klassierung und Sortierung des Materials von Bedeutung. Den besten Zerkleinerungserfolg mit hohem Aufschlußgrad lieferten Versuche in einer Doppelwellen-Hammermühle mit vornehmlich schlagender Beanspruchung. Eisenhaltige Bestandteile des Leiterplattenschrottes können mit Hilfe von Magnetscheidern abgetrennt werden. Die Sortierung durch Wirbelstrom-, Elektro- oder auch Schwimm-Sink-Scheidung liefern NE-Metallkonzentrate von hohem Reinheitsgrad. Diese können zum Beispiel in pyrometallurgischen Prozessen weiter verarbeitet werden. Da die Kunststofffraktion, für die nach derzeitigem Stand der Technik noch keine Wiederverwendungsmöglichkeiten besteht, sauber abgetrennt werden kann, führt dies nicht zu Schadstoffverschleppungen in weitere Aufbereitungsprozesse.

Recyclinggerechte Konstruktion von Elektro- und Elektronikgeräten

von M. Baumann und M. Leber

1. Problemstellung und Zielsetzung

Unternehmen der Elektro- und Elektronikindustrie stehen heute in der Pflicht, neue Anforderungen zu erfüllen, die sich zum einen aus dem geänderten Umweltbewußtsein des Kunden ergeben, zum anderen durch neue Randbedingungen des Gesetzgebers (Bild 1). Hierdurch entstehen für die Unternehmen neue Aufgaben, die bei der Produktherstellung zu berücksichtigen sind. Um diese Aufgaben effizient durchführen zu können, sind geeignete Maßnahmen erforderlich.

Da die Konstruktion im Entstehungsprozeß die Schlüsselrolle bei der Festlegung der Produkteigenschaften hat, muß hierauf die besondere Aufmerksamkeit gelegt werden. Durch die Berücksichtigung von Entsorgungsaspekten bereits in der Konstruktion kann ein Vorteil bei der Gesamtkostenbilanz eines Produktes erreicht werden (Bild 2). Dabei ist die Bilanzierung und Wirtschaftlichkeitsrechnung von Entsorgungsaufwendungen aufgrund der im Vergleich zur Produktherstellung langen Produktlebensdauer äußerst schwierig, da herkömmliche Kostenrechnungsverfahren sich hierfür als wenig geeignet erwiesen haben. Insofern läßt sich eine recyclinggerechte Produktgestaltung monetär nur schwer bewerten.

Es stellt sich zunächst die Frage, was recyclinggerechte Konstruktion für Elektro- und Elektronikgeräte eigentlich bedeutet. Aufgrund der besonderen Eigenschaften dieser Produkte ist eine gute Rezyklierbarkeit im Gegensatz zu den meisten Maschinenbauprodukten besonders schwierig. Dies resultiert aus einer Vielzahl verschiedenster Materialien, insbesondere zahlreicher Verbundstoffe bzw. untrennbar miteinander verschmolzener Teile, die darüber hinaus bei thermischer Verwertung giftige Gase entwickeln (Bild 3). Insofern ist die Herstellung eines recyclinggerechten Elektro- oder Elektronikgerätes eine komplexe Aufgabe, bei der zukünftig ökologische Aspekte in allen Phasen des Produktlebenszyklus berücksichtigt werden müssen.

2. Auswirkungen der recyclinggerechten Konstruktion auf den Produktlebenszyklus

Die geschilderte Notwendigkeit für die Betonung des Faktors Recyclinggerechtigkeit im Unternehmen macht es erforderlich, technische Maßnahmen bereits in der Konstruktion, also in der Gestaltungsphase von Produkten, anzuwenden. Hierzu existieren Richtlinien, die das Ziel haben, die Entsorgungsproblematik nach der Produktnutzung zu entschärfen, aber

auch bereits während der Produktion und Nutzungsphase des Produkts Einsparungen von Energie und Werkstoffen zu gewährleisten.

Das Recycling kann in drei Arten gegliedert werden, die den einzelnen Produktlebensphasen zugeordnet sind (Bild 4):

- das Recycling bei der Produktion,
- das Recycling während des Produktgebrauchs und
- das Recycling nach Produktgebrauch.

Ein Produkt sollte grundsätzlich so konstruiert sein, daß alle drei Arten des Recyclings berücksichtigt werden.

2.1 Recycling bei der Produktion

Beim Recycling bei der Produktion geht es um eine Wieder-bzw. Weiterverwertung von Produktionsabfällen, ggfs. auch nach einer Aufbereitung. Zur Vereinfachung dieser Art des Recyclings sollten bereits bei der Konstruktion des Produktes Richtlinien beachtet werden, die in Bild 5 auszugsweise dargestellt sind. Dabei kommt dem Kreislauf des Produktionsrücklaufrecyclings eine besondere Bedeutung zu (Bild 6).

2.2 Recycling während des Produktgebrauchs

Das Recycling während des Produktgebrauchs hat zum Ziel ein genutztes Produkt einer erneuten Verwendung zuzuführen. Hierzu bietet sich häufig eine industrielle Aufarbeitung an, um wirtschaftlich die Gebrauchsdauer von Produkten zu verlängern. Diese sogenannte Austauschzeugnisfertigung gliedert sich in die fünf Schritte:

- Demontage,
- Reinigung,
- Prüfen und Sortieren,
- Bauteilbearbeitung bzw. Ersatz durch Neuteile und
- Wiedermontage.

Hieraus resultieren die in Bild 7 aufgeführten Anforderungen an die Produktgestaltung, die seitens des Konstrukteurs zu berücksichtigen sind..

In vielen Fällen läßt sich zudem durch eine mit der Aufarbeitung verbundene Modernisierung, z.B. durch den Einbau neuer Steuerungen oder durch die Erhöhung der Genauigkeit, der Wert des rezyklierten Teils zusätzlich anheben. Diese Möglichkeit sollte in Zukunft verstärkt als Alternative zu der Anschaffung eines Neuproduktes angesehen werden. So

könnten für das Recycling besonders problematische Bauteile wie z.B. Bildröhren länger in Gebrauch bleiben.

Als Beispiel für die recyclinggerechte Gestaltung während des Produktgebrauchs ist in Bild 8 die instandhaltungsgerechte Ausführung eines Schaltschranks einer Werkzeugmaschine angeführt. Durch die modulare Bauweise sind alle Komponenten leicht zugänglich und demontierbar, so daß ein Austausch defekter Komponenten, die anschließend einer Aufarbeitung zugeführt werden, ohne große Aufwände möglich ist.

2.3 Recycling nach Produktgebrauch

Im Rahmen des Recycling nach Produktgebrauch sollen die in ausgemusterten oder unbrauchbar gewordenen Produkten enthaltenen Materialien als Werkstoffe mit möglichst hoher Qualität wieder- bzw. weiterverwertet werden. Dazu ist eine Aufbereitung der Altstoffe notwendig. Um diesen Aufbereitungsprozeß zu vereinfachen und die Qualität der verwertbaren Werkstoffe hoch zu halten, sind in Bild 9 entsprechende Richtlinien für den Konstrukteur zusammengestellt.

Eine der wesentlichen zu beachtenden Regeln ist das Anstreben einer demontagegünstigen Baustruktur, mit der durch gute Zugänglichkeit die Demontage der für eine Kompletterverwertung störenden Teile und Baugruppen erleichtert wird. Die leichte Demontierbarkeit kann z.B. mit Hilfe der Clip-Technik erreicht werden (Bild 10).

3. Organisatorische Maßnahmen für eine recyclinggerechte Konstruktion

In Ergänzung zu den erwähnten technischen Maßnahmen kann auch durch organisatorische Maßnahmen die recyclinggerechte Produktgestaltung unterstützt werden (Bild 11). Wesentlich ist hierbei der firmeninterne Aufbau von spezifischen Recyclingkenntnissen, um dem Konstrukteur die systematische Berücksichtigung von ökologischen Aspekten zu ermöglichen. Zu den organisatorischen Maßnahmen zählen ebenfalls Absprachen in Kooperation mit den Zulieferfirmen. Dies betrifft z. B. die Entwicklung recyclinggerechter Komponenten oder auch Vereinbarungen über Rücknahmeverpflichtungen.

Auch das Simultaneous Engineering kann als organisatorische Maßnahme zur Berücksichtigung von Recyclingaspekten im gesamten Unternehmen genutzt werden. Man kann Simultaneous Engineering wie folgt definieren: Simultaneous Engineering ist integrierte und zeitparallele Abwicklung der Produkt- und Prozeßgestaltung mit dem Ziel:

- die Frist "time-to-market" von der Produktidee bis zur Einführung des Produktes zu verkürzen,

- die Entwicklungs- und Herstellkosten zu verringern und
- die Produktqualität in dem umfassenden Sinn des "Total Quality Management" zu verbessern.

In diese interdisziplinäre Zusammenarbeit der verschiedenen Unternehmensbereiche oder auch eines Entwicklungsverbundes muß die Thematik des Recyclings zusätzlich aufgenommen werden. Dadurch werden frühzeitig und an allen relevanten Entwicklungsstellen gleichzeitig gezielte Maßnahmen zur Sicherstellung der Rezyklierbarkeit des Produktes und der ressourcenschonenden Produktion eingeleitet (Bild 12).

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die Berücksichtigung von Recyclingaspekten bei Elektro- und Elektronikgeräten eine komplexe Aufgabe ist. Mit Hilfe der aufgezeigten technischen und organisatorischen Maßnahmen kann ein Unternehmen dieser Herausforderung entgegentreten und mit möglichst vertretbarem Aufwand recyclinggerechte Produkte entwickeln. Nicht zuletzt aufgrund des verstärkten Kundenbewußtseins hinsichtlich ökologischer Produkte können durch eine recyclinggerechte Produktentwicklung Wettbewerbsvorteile erzielt werden.

Literatur:

- | | |
|---|---|
| Eversheim,
Laufenberg,
Marczinski, G. | W. Integrierte Produktentwicklung einem mit zeitparallelen Ansatz, in
L. CIM Management, 2/93, Seite 4-9 |
| Hopperdietzel, R.
u.a. | Recycling elektronischer Geräte, Interdisziplinäres Konzept zeigt
die richtige Weichenstellung, in Elektronik 15/92, Seite 30-36 |
| N.N. | Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte, VDI-Richtlinie
2243, VDI-Verlag Düsseldorf 1993 |
| Steinhilper, R. | Produktrecycling im Maschinenbau, IPA Forschung und Praxis Nr.
115, Springer-Verlag, Berlin 1988 |
| Wirtz, W.
Burr, H.M. | Apokalypse Now - Report: HiFi und Umwelt, in Audio 4/92, Seite
34-38 |

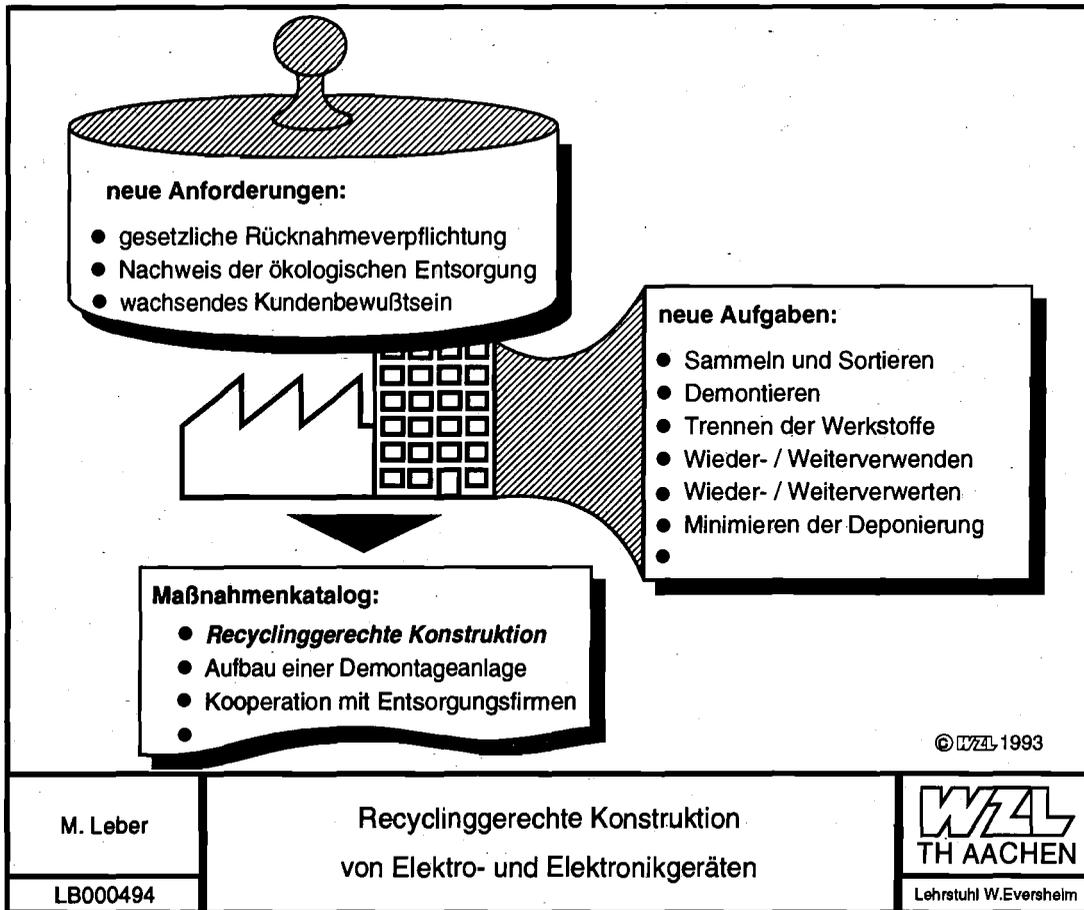


Bild 1

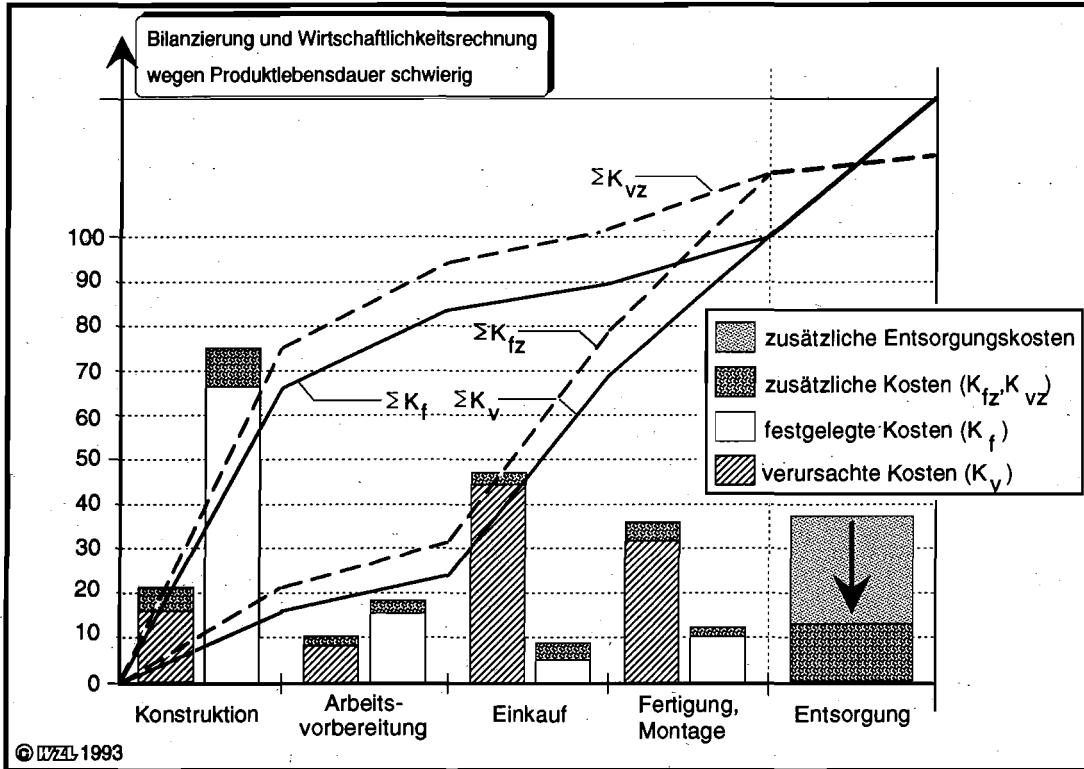


Bild 2

© WZL 1993

M. Leber

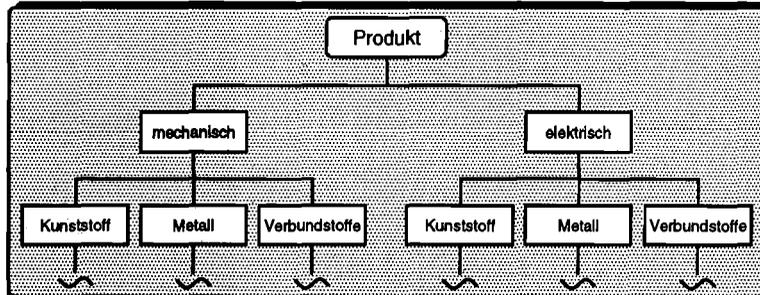
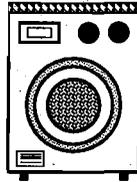
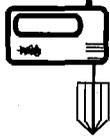
Einfluß der recyclinggerechten
Produktgestaltung

WZL
TH AACHEN

LB000489

Lehrstuhl W.Eversheim

Elektro / Elektronik - Produkte



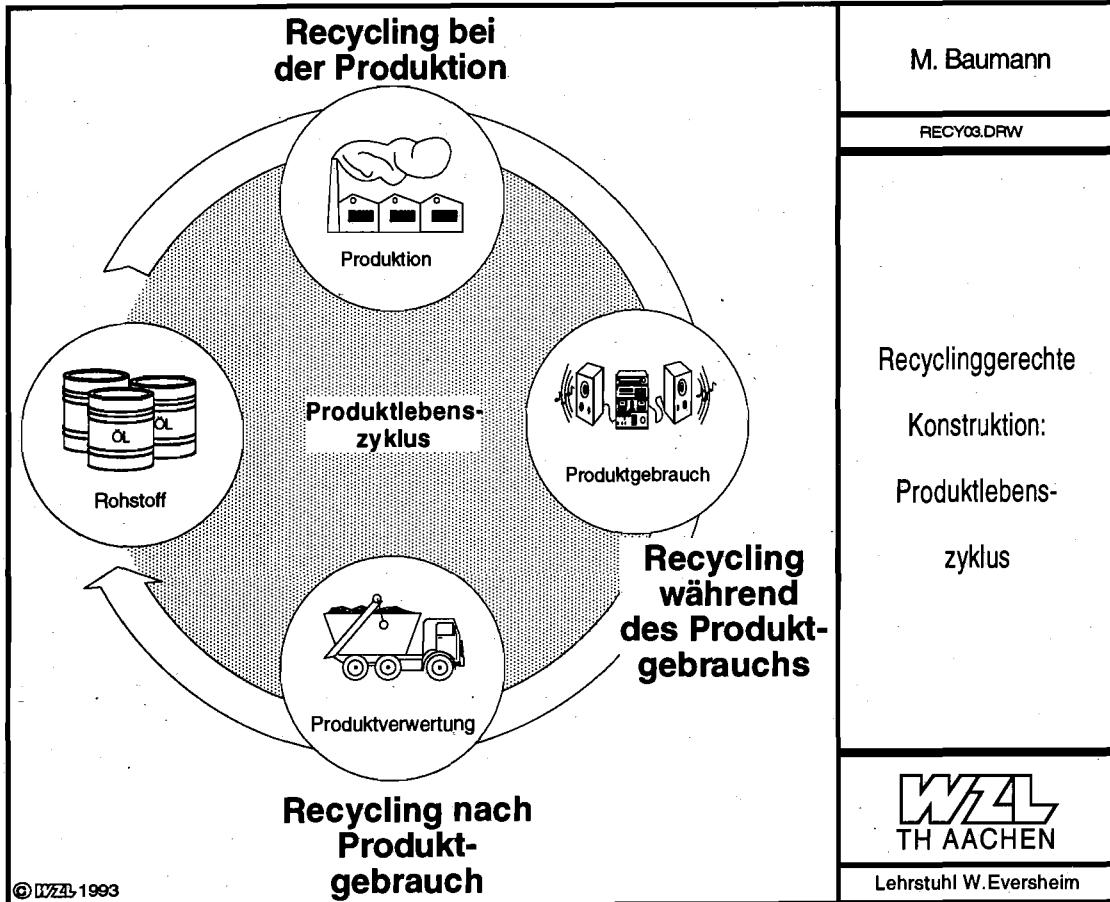
- große Anzahl unterschiedlichster Materialien
- nicht trennbar verbundene Bauteile
- toxische Werkstoffe
-

M. Leber

LB000490

Charakteristika
des Produkt-
spektrums

Bild 3



M. Baumann

RECY03.DRW

Recyclinggerechte

Konstruktion:

Produktlebens-

zyklus

Bild 4



Lehrstuhl W.Eversheim

Recycling bei der Produktion



In der **Konstruktion** zu berücksichtigende **Richtlinien**:

- Verringerung der Anzahl von Werkstoffarten
- Verringerung des Einsatzes von Verbundmaterialien
- Bevorzugung von Thermoplasten gegenüber Duroplasten oder Elastomeren
- Bevorzugung von rezyklierbaren Betriebsmitteln und Hilfsstoffen
- Recyclingweg einplanen und in Anforderungsliste festlegen
- Minimierung des Produktions-Rücklaufmaterials
- Recycling des unvermeidbaren Produktions-Rücklaufmaterials
-

M. Baumann

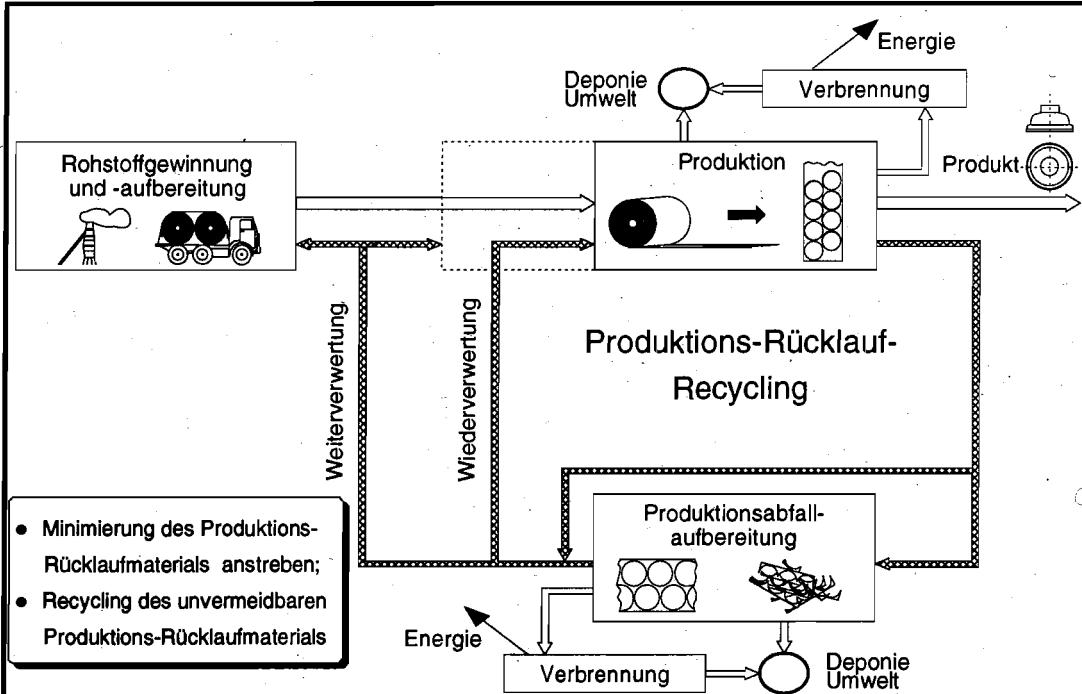
RECY15.DRW

Recyclinggerechte
Konstruktion:
Richtlinien für das
Recycling bei der
Produktion

Bild 5

WZL
TH AACHEN

Lehrstuhl W.Eversheim



- Minimierung des Produktions-Rücklaufmaterials anstreben;
- Recycling des unvermeidbaren Produktions-Rücklaufmaterials

© WZL 1993

nach: VDI 2243

M. Baumann
RECY05.DRW

Beispiel für die Recyclinggerechtigkeit unter Berücksichtigung der Produktion (Produktionsrücklaufmaterial)

WZL
TH AACHEN
Lehrstuhl W.Eversheim

Bild 6

Recycling während des Produktgebrauchs



In der **Konstruktion** zu berücksichtigende **Richtlinien** :

- wartungs- und servicefreundliche Techniken
- reinigungsgerechte Gestaltung
- prüfgerechte Gestaltung
- sortiergerechte Gestaltung
- aufarbeitungsgerechte, remontagegerechte Gestaltung
- Funktionsfähigkeit von lösbaren Verbindungen während der gesamten Produktlebensdauer gewährleisten
-

M. Baumann

RECY16.DRW

Recyclinggerechte

Konstruktion:

Richtlinien

für das

Recycling

während des

Produktgebrauchs

Bild 7

WZL
TH AACHEN

Lehrstuhl W.Eversheim

- o Demontagegerecht
- o leichte Austauschbarkeit des Schaltschranks, der Schaltschrankmodule, der Kabelverbindungen etc.
- o Zusammenfassen der Ersatzteilgruppen
- o standardisierte Schnittstellengestaltung (Steckerverbindungen, Schaltschrankmodule)
- o gute Zugänglichkeit zu den Verschleißbaugruppen gewährleisten



© WZL 1993

P.Ottenbruch
K.H.Sossenheimer

LB000510

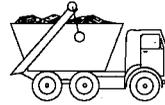
Beispiel für
instandhaltungsgerechte Konstruktion
(nach: Firma Gildemeister)

WZL
TH AACHEN

Lehrstuhl W.Eversheim

Bild 8

Recycling nach Produktgebrauch



In der **Konstruktion** zu berücksichtigende **Richtlinien**:

- Bauteilkennzeichnung, Kunststoffkennzeichnung
- Werkstoffverträglichkeit für untrennbare Teile beachten
- Kennzeichnung gefährdender Stoffe
- Einsatz wiederverwertbarer Stoffe
- Produkt aus einem Werkstoff anstreben
- Kennzeichnung hochwertiger Stoffe
- sortenreine Trennbarkeit vorsehen
- demontagegünstige Baustruktur beachten
- Vermeidung von Integralbauweise
-

M. Baumann

RECY17.DRW

Recyclinggerechte

Konstruktion:

Richtlinien

für das

Recycling

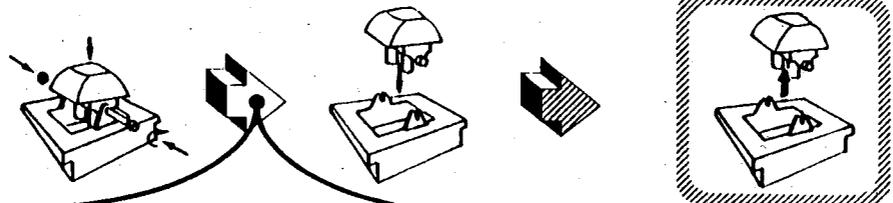
nach

Produktgebrauch

Bild 9

WZL
TH AACHEN

ZIEL: Entsorgung vereinfachen



**MONTAGE - gerechte
Produktgestaltung**

durch **VERMEIDUNG** oder
VEREINFACHUNG
von ...

- ... Montagevorgängen **M**
- ... Handhabungsvorgängen **H**
- ... Fügevorgängen **F**

z.B. Fragenkatalog
- minimale Anzahl an
Fügerichtungen

**DEMONTAGE -
gerechte
Produktgestaltung**

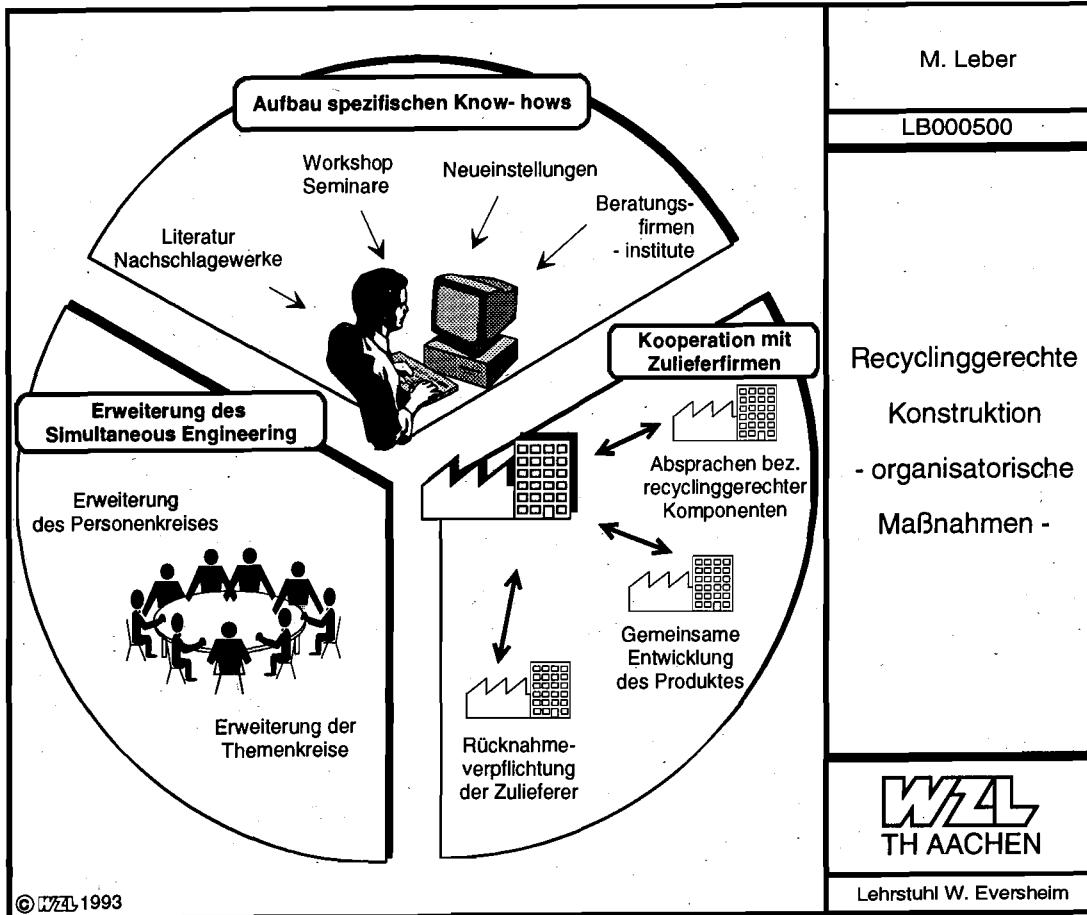
Demontage **VERMEIDEN**

↓ wenn **NICHT** möglich

Demontage
VEREINFACHEN

© WZL 1991

Bild 10



M. Leber

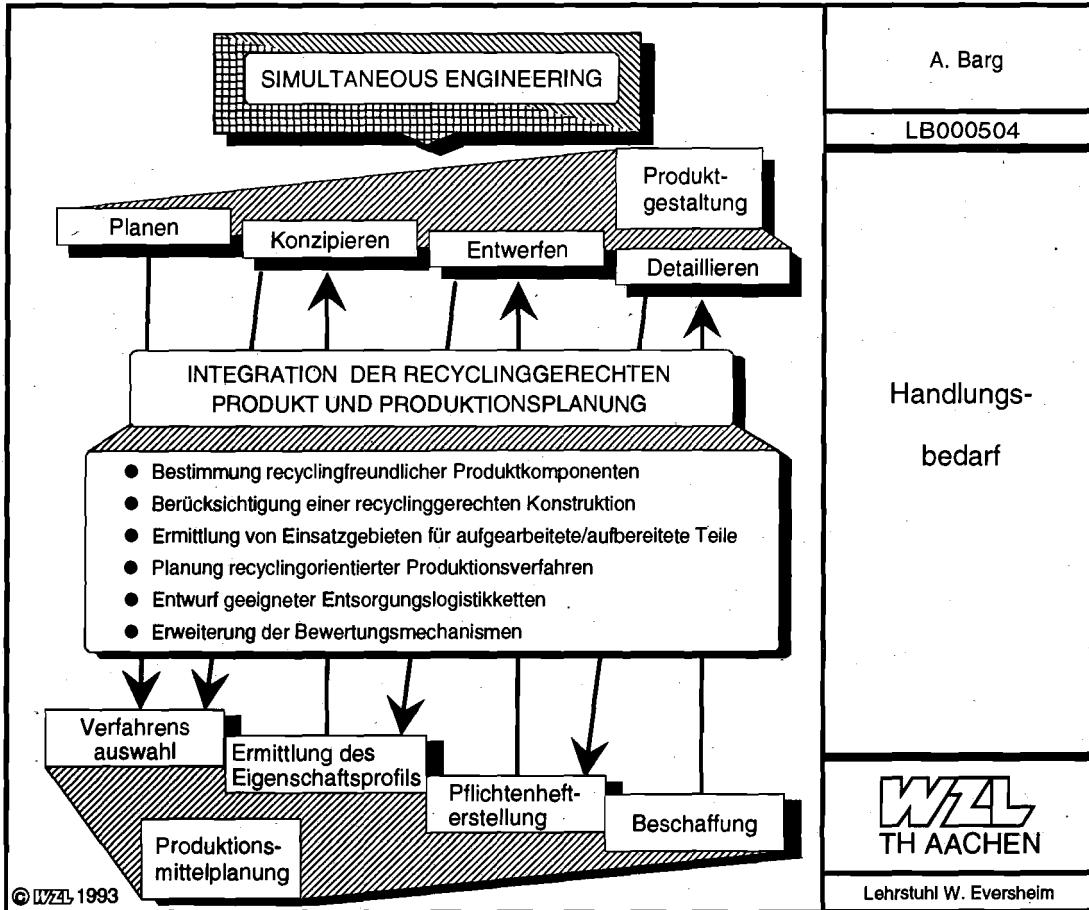
LB000500

Recyclinggerechte
Konstruktion
- organisatorische
Maßnahmen -

Bild 11

WZL
TH AACHEN

Lehrstuhl W. Eversheim



A. Barg

LB000504

Bild 12

Information über neue Technische Umweltverwaltung in Nordrhein-Westfalen

Die Technische Umweltverwaltung in Nordrhein-Westfalen wurde neu organisiert und das

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

gegründet. Im Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW), das seit dem 1. April 1994 arbeitet, sind die Vorläuferinstitutionen *Landesamt für Wasser und Abfall*, *Landesanstalt für Immissionsschutz*, *Bodenschutzzentrum*, *Bodenschutzabteilung der Landesanstalt für Ökologie* und das *Fachinformationszentrum für gefährliche und umweltrelevante Stoffe* zusammenggeführt worden.

Ein ausführliches Verzeichnis aller lieferbaren Schriften des *Landesumweltamtes NRW* und seiner *Vorläufer-Institutionen* ist erhältlich unter der gemeinsamen Postanschrift:

Landesumweltamt NRW, Postfach 10 23 63, 45023 Essen
(Hausanschrift: *Wallneyer Straße 6, 45133 Essen*)

oder direkt beim Schriftenvertrieb des Landesumweltamtes NRW, Dienststelle Düsseldorf

Telefon (02 11) 15 90 - 114 • Telefax (02 11) 15 90 176

Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des neugegründeten Landesumweltamtes NRW erschienen:

- 1 Der Dynamische Daphnientest
– Erfahrungen und praktische Hinweise –
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S. 15,00 DM

- 2 Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien
2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S. 15,00 DM

- 3 Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S. 20,00 DM