

Ref.nr. : 89-087/C1  
Dossiernr. : 8722-19237  
Datum : maart 1989  
P

Titel  
RECYCLING VAN NON-FERRO  
METAAL/KUNSTSTOF COMBINATIES

Auteur(s):

ir. A.M.M. Ansems (TNO-MT) 1)

drs. J.E. Kramer (UVA-IVAM) 2)

drs. V.P.A. de Lange (UVA-IVAM) 2)

1) Afdeling Milieutechnologie, MT-TNO

2) Universiteit van Amsterdam,  
Interfacultaire Vakgroep Milieukunde

Trefwoord(en):

- Inzameling
- Recycling
- Non-ferrometaal/Kunststofcombinaties
- Computers
- Audio-/video-apparatuur

Bestemd voor:

Ministerie van Economische Zaken;  
Directie Proces- en Lichte Industrie

## VOORWOORD

Dit rapport is het resultaat van het onderzoeksproject "Recycling van non-ferrometaal/kunststofcombinaties" (NFKC's). Dit project is een onderdeel van het onderzoek "Scheiding en recycling van NFKC's" dat in februari 1988 is opgestart als een proefproject voor een mogelijk op te zetten Innovatiegericht Onderzoeksprogramma Recycling (I.O.P.-Recycling).

Het onderzoek is uitgevoerd door de groep "Datacollecting", bestaande uit medewerkers van de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO (MT-TNO) en van de Interfacultaire Vakgroep Milieukunde (IVAM) van de Universiteit van Amsterdam (UvA). De IVAM heeft zich met name gericht op een beschrijving van de afvalstromen met NFKC's, het huidige hergebruik van NFKC's en knelpunten daarbij en (mogelijke) toekomstige ontwikkelingen op het gebied van materiaalgebruik en beleid. Hiervan is een apart rapport verschenen. MT-TNO heeft de materiaalsamenstelling van NFKC's en mogelijk toe te passen scheidingstechnieken onderzocht. Hiervan is ook een apart rapport uitgebracht. Daarnaast hebben de beide onderzoeksinstellingen gezamenlijk de hergebruiksaspecten (onder andere inzameling en verwerking) van de demonstratieprodukten audio- en video-apparatuur, computers en randapparatuur onderzocht.

De belangrijkste resultaten van de beide deelstudies zijn gebundeld in het voor u liggende rapport.

Het onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal voor de Industrie en Regionaal beleid van het Ministerie van Economische Zaken. De administratieve en financiële organisatie was in handen van de adviesgroep Technologie en Industrie van CIVI-consultancy.

De onderzoekswerkzaamheden werden met interesse gevolgd door een projectbegeleidingscommissie. Deze commissie was als volgt samesteld:

A.H. de Rooy, voorzitter (DSM), A.J.A. Mom, secretaris (CIVI), H.J.T. van Beek (Hoogovens), A.J. Hengelmolen, G.J.M. Linssen (Ministerie van Economische Zaken), L. Blom (Nederlandse Federatie voor Kunststoffen), G.W.M. van Wijk (Aluminium Hardenberg), A. v.d. Drift (Philips), Chr. Kooij (Nat. Milieu Centrum), B.J. Brand (Nat. Milieu Centrum), A.A. Nijkerk (Federatie Herwinning Grondstoffen), H. Kokke (Van Balkom), H. de Leeuw (Delco Recycling), F.G. v.d. Aarssen (Becekara), A. Kiers (Becekara), W. Dalmijn (Technische Universiteit Delft, Mijnbouwkunde),



89-087/R.22/IVS

3

J.Th.M. de Hosson (Rijks Universiteit Groningen), K.D. Scheffer (Hoek's Machinefabriek), A.W. Brand (Air Products) en C.W. Notebaart (Billiton). Onze dank gaat uit naar allen die bij de uitvoering van dit onderzoek behulpzaam zijn geweest.

De medewerking van vele bedrijven en andere instanties hebben wij zeer op prijs gesteld evenals de nuttige commentaren van de leden van de begeleidingscommissie.

Meer exemplaren zijn verkrijgbaar door overmaking van f 50,00 op post-girorekening 416269, ten name van MT-TNO Apeldoorn, onder vermelding van referentienummer 89-087.

Namens het onderzoeksteam,

Ir. A.M.M. Ansems (MT-TNO)

Drs. J.E. Kramer (IVAM-UvA)

89-087/R.22/IVS

4

## INHOUDSOPGAVE

|       |                                                                                            |      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.    | INLEIDING                                                                                  | 1-1  |
| 1.1   | Aanleiding voor het onderzoek                                                              | 1-1  |
| 1.2   | Doelstelling                                                                               | 1-2  |
| 1.3   | Methode van onderzoek                                                                      | 1-3  |
| 1.3.1 | Afbakening                                                                                 | 1-3  |
| 1.3.2 | Werkwijze                                                                                  | 1-3  |
| 1.3.3 | Selectie van de demonstratieprodukten                                                      | 1-4  |
| 2.    | INVENTARISATIE NFKC-AFVAL                                                                  | 2-1  |
| 2.1   | Bronnen en hoeveelheden                                                                    | 2-1  |
| 2.2   | Huidig hergebruik                                                                          | 2-1  |
| 2.3   | Knelpunten voor hergebruik                                                                 | 2-4  |
| 2.4   | Toekomstige ontwikkelingen                                                                 | 2-7  |
| 3.    | INVENTARISATIE VAN AFGEDANKTE COMPUTERS EN RANDAPPARATUUR<br>EN AUDIO- EN VIDEO-APPARATUUR | 3-1  |
| 3.1   | Levensduur                                                                                 | 3-1  |
| 3.2   | Hoeveelheden in het afvalstadium                                                           | 3-3  |
| 3.2.1 | Computers en randapparatuur                                                                | 3-3  |
| 3.2.2 | Audio-/video-apparatuur                                                                    | 3-5  |
| 3.3   | Hergebruik                                                                                 | 3-5  |
| 4.    | INZAMELING DEMONSTRATIEPRODUKTEN                                                           | 4-1  |
| 4.1   | Haalmethoden                                                                               | 4-1  |
| 4.2   | Brengmethoden                                                                              | 4-2  |
| 5.    | VERWERKING AFGEDANKTE COMPUTERS EN AUDIO- EN<br>VIDEO-APPARATUUR                           | 5-1  |
| 5.1   | Karakterisering                                                                            | 5-1  |
| 5.2   | Opzet verwerkingsprocessen                                                                 | 5-6  |
| 5.3   | Centrale voorbewerking                                                                     | 5-7  |
| 5.4   | Verwerking beeldbuizen                                                                     | 5-10 |
| 5.5   | Verwerking printplatenfractie                                                              | 5-13 |
| 6.    | BESTEMMING HERWONNEN MATERIALEN EN RESIDUEN                                                | 6-1  |

---

|                                                 | Pagina |
|-------------------------------------------------|--------|
| 89-087/R.22/IVS                                 | 5      |
| 7. BEPALING KOSTEN EN BATEN                     | 7-1    |
| 7.1 Recyclingkosten en -baten                   | 7-1    |
| 7.1.1 Centrale voorbereiding                    | 7-1    |
| 7.1.2 Verwerking beeldbuizen                    | 7-3    |
| 7.1.3 Verwerking elektronika                    | 7-3    |
| 7.1.4 Opbrengsten materialen en kosten residuen | 7-4    |
| 7.1.5 Economische ruimte                        | 7-6    |
| 7.2 Maatschappelijke kosten en baten            | 7-7    |
| 7.2.1 Inzamelkosten                             | 7-7    |
| 7.2.2 Vermeden afvalverwerkingskosten           | 7-7    |
| 7.2.3 Balans tussen kosten en baten             | 7-8    |
| 8. EVALUATIE                                    | 8-1    |
| 9. AANBEVELINGEN                                | 9-1    |

## 1. INLEIDING

### 1.1 Aanleiding voor het onderzoek

In veel produkten zijn non-ferrometalen en kunststoffen verwerkt. In dit onderzoek wordt gesproken van een non-ferrometaal/kunststofcombinatie (NFKC), wanneer beide materialen in één produkt voorkomen, in kleinere of grotere delen.

Combinaties van verschillende materialen (zoals metalen en kunststoffen) in afgedankte produkten bemoeilijken de recycling van de afzonderlijke materialen. Het wordt voor een aantal NFKC's steeds gecompliceerder om de non-ferrometalen en de kunststoffen van elkaar te scheiden en ze te benutten voor herverwerking. Met de huidige recyclingtechnieken kan maar een gedeelte van de waardevolle materialen worden teruggewonnen.

Daarnaast doen zich problemen voor bij de inzameling: NFKC's komen in geringe hoeveelheden vrij bij veel verschillende bronnen, ze zijn of raken vermengd met andere afvalcomponenten of er is geen (geschikte) inzamelorganisatie aanwezig.

Door genoemde oorzaken gaan momenteel veel NFKC's verloren voor herverwerking. Zij worden gestort of verbrand.

Hergebruik is interessant vanwege de volgende twee hoofdredenen:

1. De economische drijfveer; de teruggewonnen materialen worden verhandeld en vestigen hun plaats in het economisch verkeer.
2. De milieuhygiënische en grondstofbesparende drijfveer; door een verhoogd hergebruik wordt bijgedragen aan de oplossing van de afvalstoffenproblematiek.

Teneinde na te gaan in hoeverre recycling van afval van NFKC's mogelijk is, is het onderzoek "Recycling non-ferrometaal/kunststofcombinaties" gestart. Dit onderzoek is opgezet als proefproject waarop mogelijk door het ministerie van Economische Zaken een "Innovatiegericht Onderzoekprogramma (IOP)-Recycling" gebaseerd gaat worden. Als onderdeel van deze studie is een inventarisatie en karakterisering gemaakt van NFKC's in het algemeen en is in het bijzonder gekeken naar hergebruiksmogelijkheden van de demonstratieprodukten "computers en randapparatuur" en



"audio- en video-apparatuur". Het onderzoek is uitgevoerd door de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO en de Interfacultaire Vakgroep Milieukunde (IVAM) van de Universiteit van Amsterdam.

In het IVAM-deelrapport is een inventarisatie gemaakt van NFKC bevattende afvalstromen (hoeveelheden, samenstelling, bronnen, bestemmingen), van het huidige hergebruik van NFKC's en de (vooral organisatorische en logistieke) knelpunten daarbij. Daarnaast is aandacht besteed aan mogelijke toekomstige ontwikkelingen (materiaalgebruik, constructiewijzen, overheidsbeleid), die van belang kunnen worden voor de recycling. Wat betreft de demonstratieprodukten ligt in het IVAM-deelrapport de nadruk op de achtergronden van het afdankingsproces van dat soort apparaten, de (te verwachten) hoeveelheden, bronnen en bestemmingen, de huidige knelpunten voor het hergebruik van componenten/materialen uit deze apparaten en op de organisatorische en logistieke aspecten van een mogelijk op te zetten hergebruikstraject.

In het TNO-deelrapport is een inventarisatie gemaakt van de huidige en potentieel inzetbare technieken voor de herverwerking van NFKC's en van de economische parameters die van invloed zijn op hergebruiksmogelijkheden. Ten aanzien van de demonstratieprodukten is in het TNO-deelrapport een karakterisering gemaakt van de materialensamenstelling en de toegepaste constructiewijzen en zijn de technische en economische mogelijkheden voor de recycling van componenten/materialen uit afgedankte apparaten geanalyseerd.

Dit rapport bevat de belangrijkste resultaten, die uit de studies van beide onderzoeksinstellingen naar voren zijn gekomen.

## 1.2 Doelstelling

De volgende doelstellingen zijn voor de twee deelonderzoeken geformuleerd:

Ten aanzien van het IVAM-deel:

Inzicht verwerven in de huidige en toekomstige hoeveelheid, samenstel-

ling en bestemming (verwijdering, hergebruik) van afvalprodukten waarin non-ferrometalen en kunststoffen gezamenlijk voorkomen. Deze inventarisatie heeft als doel afvalstoffen aan te wijzen die uit economisch en milieuhygiënisch oogpunt aantrekkelijk zijn voor hergebruik.

Ten aanzien van het TNO-deel:

Karakterisering van vooraf geselecteerde produktstromen met een relatief groot aandeel NFKC's. Deze karakterisering moet leiden tot aanbevelingen voor mogelijk toe te passen (intelligente) ontmantelings- en scheidingstechnieken voor de verwerking van NFKC's bevattende produktstromen. Daarbij gelden bedrijfseconomische en milieuhygiënische randvoorwaarden.

### 1.3 Methode van onderzoek

#### 1.3.1 Afbakening

Non-ferrometalen komen in verschillende verschijningsvormen voor: als zuiver metaal, in legeringen en in diverse chemische verbindingen. Besloten is om in dit onderzoek het begrip NFKC te beperken tot produkten waarin non-ferrometalen de fysische verschijningsvorm van een metaal hebben.

Diffuse toepassingen van metalen, zoals het gebruik in verven vallen buiten dit onderzoek. Tevens zijn produkten die bestaan uit alleen een combinatie van kunststoffen en een legering van ferrometaal (ferro met non-ferrometalen) buiten het onderzoek gehouden.

#### 1.3.2 Werkwijze

De diverse inventarisaties die voor dit onderzoek zijn uitgevoerd, komen voort uit literatuurstudies, analyses van statistisch materiaal en uit gesprekken met deskundigen op diverse gebieden. De karakterisering van de demonstratieprodukten heeft plaatsgevonden door een aantal apparaten te demonteren en daaruit de materiaalsamenstelling en constructiewijzen te herleiden.

Het onderzoek is begeleid door een stuurgroep, waarin deskundigen op het

gebied van (de recycling van) non-ferrometalen en/of kunststoffen zitting hadden.

### 1.3.3 Selectie van de demonstratieprodukten

Met de opdrachtgever is overeengekomen dat zowel economische als milieuhygiënische factoren een rol dienden te spelen bij de selectie van de demonstratieprodukten (demo's). De volgende selectiecriteria zijn daartoe opgesteld:

- De demo's worden momenteel niet op een bevredigende manier hergebruikt.
- De demo's moeten afkomstig zijn uit verschillende produktcategorieën, zodat uiteenlopende inzamel- en verwerkingsproblemen aan de orde komen.
- In de demo's dienen non-ferrometalen en kunststoffen te zijn verwerkt, die economisch, zowel uit kwantitatief als kwalitatief oogpunt interessant (kunnen) zijn (economische drijfveer).
- De demo's kunnen bij de huidige verwerking uit milieu-oogpunt problemen opleveren (milieuhygiënische drijfveer).
- De uit de demo's afgescheiden non-ferro's dienen afzetkansen te hebben.
- De economische ruimte voor de verwerking van de demo's dient zodanig te zijn dat de inzet van scheidingstechnieken perspectieven biedt.

Op basis hiervan is besloten om als demo's computers en randapparatuur en audio-/video-apparatuur te kiezen. De argumenten die daarbij een rol hebben gespeeld zijn:

- Er komen nu reeds veel van dit soort apparaten in het afvalstadium vrij (met name audio/video) en de hoeveelheden zullen in de komende jaren sterk gaan toenemen (vooral computers en randapparatuur).
- In de apparaten worden waardevolle materialen, zoals bulkmetalen, zeldzame metalen en hoogwaardige kunststoffen, toegepast.
- De apparaten bevatten elementen die potentieel schade aan het milieu kunnen veroorzaken.



89-087/C1/R.22/IVS

1-5

- De toepassing van steeds meer verschillende materialen in deze producten vereist een geavanceerde verwerking in het afdankstadium.
- De apparaten komen bij verschillende bronnen vrij.



## 2. INVENTARISATIE NFKC-AFVAL

### 2.1 Bronnen en hoeveelheden

In veel verschillende produkten, die in diverse sectoren worden gebruikt, worden zowel non-ferrometalen als kunststoffen toegepast. Wat betreft de non-ferrometalen zijn hierbij, uit kwantitatief oogpunt, vooral aluminium, koper en lood van belang.

Non-ferrometaal/kunststofcombinaties (NFKC's) komen voor in de volgende afvalstromen:

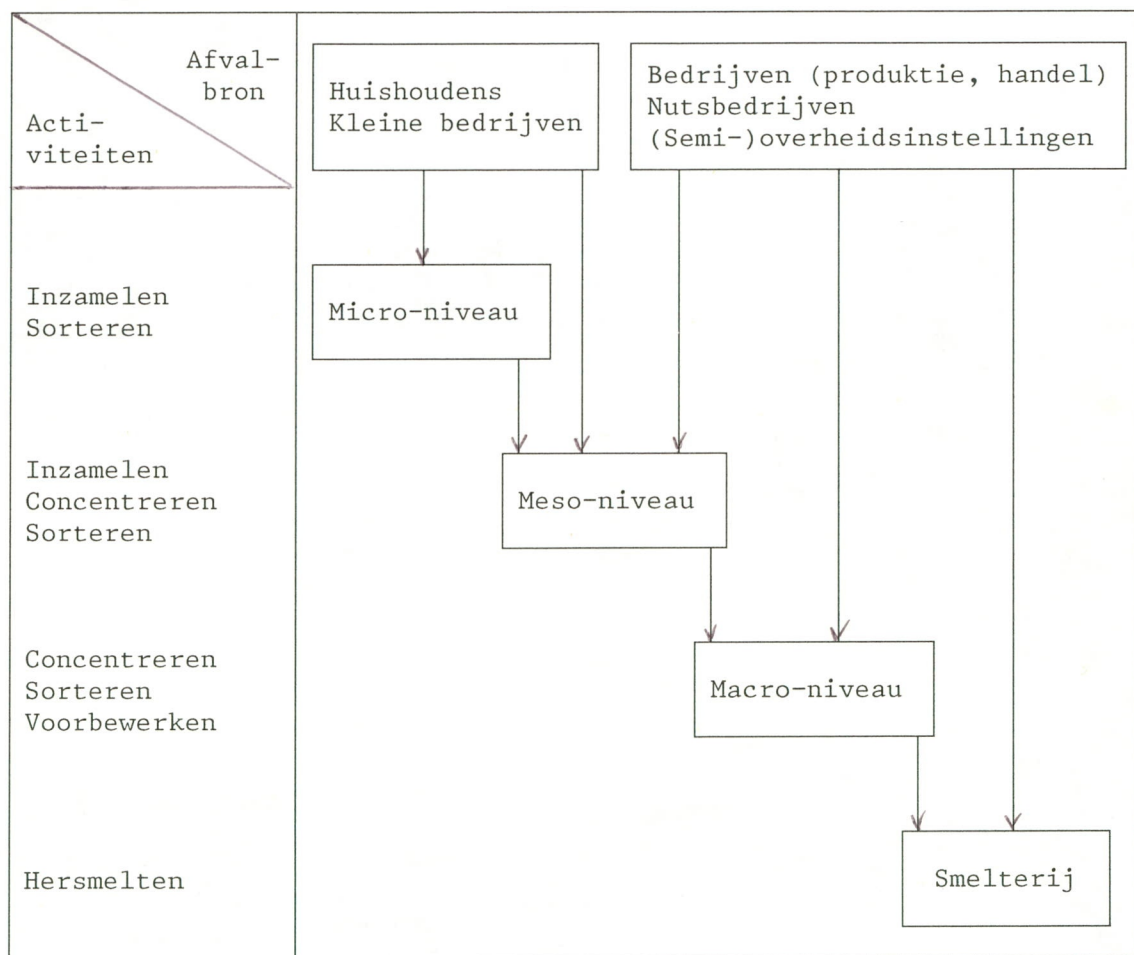
- \* Huishoudelijk afval (Schatting hoeveelheid NFKC's: 25.000-100.000 ton/jaar). Deze afvalstroom komt vrij bij de particuliere huishoudens en de kleine bedrijven. Het wordt in zakken of mini-containers aangeboden. Voorbeelden NFKC's: verpakkingsmateriaal (flessendoppen, koffie-creamerzakjes), kleine gebruiksapparatuur (scheerapparaat, audio-apparatuur), keukengerei (bestek, pannen).
- \* Grofvuil (Schatting hoeveelheid NFKC's: 35.000-70.000 ton/jaar). Het grofvuil wordt door ongeveer de helft van de Nederlandse gemeenten gescheiden opgehaald bij particuliere huishoudens en kleine bedrijven. Voorbeelden NFKC's: witgoed (wasmachines, koelkasten, etc.), tweewielers, elektronische apparatuur, meubels.
- \* Bedrijfsafval (Hoeveelheid NFKC's niet bekend). Voorbeelden: afgedankte kantoor- en productie-apparatuur, verouderde voorraden, afgekeurde produkten, productie-overschotten, defecte onderdelen. Waarschijnlijk relatief weinig procesafval.
- \* Autowrakken (Aandeel personenauto's: 400.000-450.000 ton/jaar; deze stroom bevat een dominante hoeveelheid ferro).
- \* Bouw- en sloopafval (Hoeveelheid NFKC's niet bekend). Voorbeelden: sanitair, kabels, leidingen, lantaarnpalen, verkeersborden.

### 2.2 Huidig hergebruik

De non-ferrometaalcomponent in een aantal NFKC's is momenteel de bepalende factor of afgedankte produkten worden hergebruikt of niet. Bij het

hergebruik van NFKC's gaat het om de herwinning van voornamelijk aluminium, koper, lood en de edele metalen. Alleen de kunststofcomponent van accu's (polypropreen), de bij de P.T.T. teruggekomen telefoons (acrylonitrilbutadiëenstyreen) en een deel van de kabels (polyvinylchloride) wordt als materiaal hergebruikt. De kunststofcomponent van alle andere NFKC's gaat over het algemeen voor hergebruik verloren.

De metaalrecyclingbranche kan globaal worden ingedeeld in de handel op micro-, meso- en macro-niveau en de smelterijen (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1 Organisatie metaalrecycling

De handel op micro-niveau houdt zich bezig met de inzameling van onder andere NFKC's uit het grofvuil. Beweegredenen zijn: verkoop voor tweede-

handscircuit en verkoop voor de materialenwaarde aan vooral de handel op meso-niveau. Een groot deel van het door deze handelaren ingezamelde afval wordt uiteindelijk als het zogenaamde gruis in de autowrakken-shredders verwerkt.

Bij de handel op meso-niveau vindt concentratie plaats van NFKC's, die door de handel op micro-niveau zijn ingezameld. Zeer waardevolle partijen worden ook direct aangekocht van de afdankers. Soms is deze handel gespecialiseerd naar soort produkt (autowrakken, computers). Bij de andere handelaren worden de produktsoorten gesorteerd naar afzetkanaal. Daarnaast wordt meestal gesorteerd naar het soort non-ferrometaal, de soort legering en de mate van verontreiniging met verf, vuil, kunststof, vet, etc. De mogelijkheid om te sorteren hangt, naast de ermee gepaard gaande kosten en baten, in hoge mate af van de beschikbare materialenkennis van de sorteerder en de beschikbare hulpgereedschappen. Soms vindt enige voorbewerking plaats (magnetisch scheiden van ferro en non-ferro, uitslopen van uit specifieke materialen bestaande onderdelen, verwijderen van (grote) kunststofdelen).

Bij de handel op macro-niveau wordt door (een combinatie van) grootschalige verkleinings- en scheidingstechnieken (met een industrieel karakter) het schroot geschikt gemaakt voor de smelterijen. Het schroot is afkomstig van de handel op meso-niveau of, indien het om grote partijen of om zeer waardevolle produkten gaat, direct van de afvalproducenten. Deze handel is gespecialiseerd naar het soort schroot dat men verwerkt. Op het gebied van NFKC's zijn vier specialisaties te onderscheiden:

- De "autowrakken"shredders (zij verwerken naast de autowrakken ook het zogenaamde "gruis"; 70.000-100.000 ton/jaar).
- De accuverwerking (in Nederland ongeveer 25.000 ton/jaar).
- De elektronika-afvalverwerking (waarschijnlijk niet meer in Nederland).
- De kabelverwerking (hoeveelheid niet bekend).

Bij de smelterijen worden relatief homogene metalen omgesmolten, waarna ze in nieuwe produktieprocessen kunnen worden ingezet. Een klein percentage verontreiniging met kunststof kan vaak worden getolereerd. De



kunststoffen verbranden tijdens het smeltproces. De tolerantiegrens voor polyvinylchloride ligt echter veel lager. Mogelijk zal hetzelfde gelden voor kunststoffen met bepaalde additieven, zoals broom bevattende vlamvertragers.

### 2.3 Knelpunten voor hergebruik

Voor het hergebruik van afgedankte NFKC-produkten kunnen de volgende knelpunten worden genoemd:

#### Algemeen

- De recyclingbranche profiteert over het algemeen niet van vermeden afvalverwerkingskosten, en zal zich daarom vooral richten op de waardevolle afvalstromen (zie hoofdstukken 6 en 7).
- Een deel van de NFKC's gaat om de volgende redenen voor hergebruik verloren:
  - \* Een deel van de (kleine) NFKC's van bedrijven en huishoudens is momenteel ongrijpbaar, omdat ze in zakken of mini-containers, vermengd met ander afval, direct worden afgevoerd naar de stort of de vuilverbranding. Het gaat met name om kleine gebruiksartikelen en de flessendoppen.
  - \* Bij veel bedrijven worden NFKC's in containers, vermengd met ander afval, direct door particuliere containerbedrijven afgevoerd naar de stort of de vuilverbranding.
  - \* Bij 50% van de gemeenten hoeft het grofvuil niet gescheiden te worden aangeboden. De kans dat grotere NFKC's van kleine bedrijven en particuliere huishoudens vermengd raken met huishoudelijk afval en direct worden afgevoerd naar de stort of de vuilverbranding wordt hierdoor vergroot.
  - \* In gemeenten waar grofvuil gescheiden wordt opgehaald, vindt scheiding achteraf vaak niet plaats. Dit geldt vooral indien de inzameling met een kraakperswagen geschiedt.



Hergebruik van de non-ferrometaalcomponent

- De huidige recycling van NFKC's wordt vooral ingegeven door de materiaalwaarde van de non-ferrometaalcomponenten. De marktprijzen van secundaire non-ferrometalen fluctueren echter sterk <sup>1)</sup>. Deze fluctuerende prijzen hebben een aantal gevolgen:
  - \* Het is voor de handel op micro-niveau beneden een bepaalde prijs-grens niet aantrekkelijk om non-ferrometalen in te zamelen. Dit geldt vooral voor NFKC's omdat deze, in vergelijking tot "zuivere" non-ferrometalen, minder opleveren (de recycling van NFKC's brengt immers, door de noodzakelijke scheidingsstappen en de verwijdering van de kunststofcomponent als afval, extra kosten met zich mee).
  - \* Bij vooral de handel op meso-niveau speelt het speculatie-element een belangrijke rol. Indien de prijzen laag zijn, vindt vaak voorraadvorming plaats. Dit proces kan de continuïteit van het aanbod van het afval aan de smelterijen belemmeren.
  - \* Investerings in kapitaalintensieve scheidings- en smelttechnieken zijn risicovol.
- Verschillende non-ferro's of verschillende legeringen zijn in veel NFKC's reeds door elkaar toegepast of raken met elkaar vermengd tijdens de inzamelfase. Dit brengt hogere scheidingskosten of lagere opbrengsten voor de smelterijen met zich mee.
- De kunststofcomponent van de meeste NFKC's brengt voor een aantal schakels in het metaalrecuperatieproces kosten met zich mee, omdat deze componenten meestal moeten worden afgescheiden en afgevoerd naar de stort of de vuilverbranding. Vooral bij de autoshredders is deze kostenpost aanzienlijk. Bij de metaalsmelterijen veroorzaken op het schroot achtergebleven kunststofresten kosten, omdat hierdoor milieuhygiënische voorzieningen moeten worden getroffen. Met name PVC vormt voor smelterijen een probleem.

---

<sup>1)</sup> De prijzen zijn afgeleid van de prijzen van de primaire metalen en deze worden bepaald door (voor Nederland) niet te beïnvloeden factoren.

Hergebruik van de kunststofcomponent

Hergebruik van de kunststofcomponent uit NFKC's wordt door een aantal factoren bemoeilijkt:

- De prijzen van de primaire kunststoffen zijn relatief laag.
- De kwaliteitseisen bij herverwerking ten aanzien van het kunststofafval zijn over het algemeen hoog (het mag niet of nauwelijks verontreinigd zijn met "vreemde" materialen (zoals metalen) en de verschillende soorten kunststoffen mogen niet vermengd zijn). De kans dat de kunststofcomponent uit NFKC's niet aan deze kwaliteitseisen kan voldoen, is groot, omdat verschillende materiaalsoorten reeds in de producten "vermengd" met elkaar zijn toegepast. Bovendien zijn in veel NFKC's ook reeds verschillende soorten kunststof door elkaar verwerkt.
- Voor herverwerking van de kunststofcomponenten uit de meeste NFKC's zal het bij de huidige stand van de techniek en met het oog op de hoge kwaliteitseisen, vaak nodig zijn dat deze componenten min of meer handmatig worden afgescheiden. De wijze waarop veel NFKC's zijn geconstrueerd, is daarbij echter in veel gevallen een belemmerende factor. Dit geldt bijvoorbeeld voor slecht bereikbare verbindingselementen en voor allerlei toegepaste constructiemethoden, zoals snap-, klik-, en lasverbindingen, popnagels en lijmen.
- Herverwerking van de thermoharders is technisch niet mogelijk en hydrolyse en pyrolyse hiervan worden in Nederland nog niet in de praktijk toegepast. Hergebruik van thermoharders uit NFKC's als vulmateriaal is vanwege de lage opbrengsten voor de recyclingindustrie waarschijnlijk niet rendabel.
- De soorten kunststoffen die in NFKC's zijn toegepast, zijn vaak moeilijk te determineren. Hierdoor is de scheiding naar soort voor handelaren erg lastig. Daarnaast is vaak niet nauwkeurig bekend welke additieven en coatings respectievelijk in en op de kunststoffen zijn aangebracht. Dat soort informatie wordt meestal wel van belang gevonden door de bedrijven, die de kunststoffen hersmelten.
- Het transport van de kunststofcomponenten naar de recyclingbedrijven is relatief duur, omdat het te vervoeren volume (en niet het gewicht) de bepalende factor is voor de laadcapaciteit van het vervoermiddel.

#### 2.4 Toekomstige ontwikkelingen

In technische vakbladen wordt momenteel veel aandacht besteed aan nieuwe materialen, nieuwe toepassingen van bestaande materialen, nieuwe of vernieuwde constructiewijzen en uitbreiding van bestaande toepassingen van materialen en constructiewijzen, die de samenstelling en het uiterlijk van diverse produkten zullen gaan veranderen. Vaak zullen deze ontwikkelingen betrekking hebben op produkten die nu bestaan uit een combinatie van non-ferrometalen en kunststoffen. Het gaat bijvoorbeeld om allerlei materiaalsubstituties: metalen vervangen andere metalen, nieuwe kunststoffen vervangen bestaande kunststoffen, kunststoffen vervangen metalen of vice versa en kunststoffen of metalen worden vervangen door weer andere materiaalsoorten. Verder is de wijze waarop de componenten worden geconstrueerd aan het veranderen en vinden veranderingen plaats op het gebied van de oppervlakteveredeling. Door deze ontwikkelingen zal de samenstelling van het afval veranderen. De tendens is dat veel NFKC's complexer van samenstelling zullen worden.

De metaalrecyclingbranche zal waarschijnlijk door materiaalsubstituties en veranderende constructiewijzen genoodzaakt worden om te beschikken over geavanceerdere scheidingstechnieken. Mede door deze ontwikkelingen zal men wellicht tevens worden gedwongen om te investeren in allerlei milieuhygiënische voorzieningen. Een en ander zal vaak gepaard gaan met toenemende kosten. Door een toename van de hoeveelheid moeilijk te hergebruiken componenten in NFKC's (vooral kunststoffen), zullen ook de verwijderingskosten voor deze reststromen toenemen en de uiteindelijke opbrengsten per produkt afnemen (onder andere door de lagere totale materiaalwaarde).

De termijn waarop men met deze aspecten te maken krijgt, verschilt per NFKC. De autowrakken- en de computerrecycling ondervinden nu reeds de gevolgen van materiaalsubstituties in het (nabije) verleden.

De metaalrecyclingbranche zal in een aantal gevallen te maken (blijven) krijgen met een afzetmarkt, die qua aard, prijsstelling, omvang en kwaliteitseisen aan veranderingen onderhevig is.

Mogelijk zal de rentabiliteit van het hergebruik van de non-ferrocomponenten uit een aantal NFKC's door deze ontwikkelingen (verder) onder



druk komen staan. Lichtpuntjes voor de metaalrecyclingbranche zouden kunnen zijn het grote belang dat de samenleving hecht aan recycling en het toenemend gebruik van allerlei kostbare en politiek-strategisch van belang zijnde non-ferro's in NFKC's. Ook door het beschikbaar komen van nieuwe scheidings-, smelt- en plastificeertechnieken kunnen nieuwe recyclingactiviteiten ontstaan.

In de notitie "Preventie en hergebruik van afvalstoffen", die in oktober 1988 door de rijksoverheid is uitgebracht, worden diverse mogelijke beleidsmaatregelen genoemd, die het hergebruik van afval moeten bevorderen.

Het hergebruik door omsmelten van de kunststofcomponent uit NFKC's zal, bij gelijkblijvende technieken en ongewijzigd beleid, waarschijnlijk nog moeilijker worden. Vooral de ontwikkeling en toepassing van complexere kunststoffen (composieten, blends, laminaten en coatings) is daar de oorzaak van. De termijn waarop deze ontwikkelingen gaan spelen, verschilt per produkt.

Door de substitutie van materialen door kunststoffen in reeds in gebruik zijnde NFKC's, die nog in het afvalstadium moeten komen (het zogenaamde "inhaaleffect") en door de te verwachten voortgaande groei van het kunststoffengebruik in de toekomst, zal de hoeveelheid kunststof, dat naar de stort of de afvalverbranding wordt afgevoerd, de komende jaren waarschijnlijk sterk toenemen. Dit kan een aantal milieuhygiënische bezwaren met zich mee brengen.

De beleidsintenties van de overheid (zie "Notitie inzake preventie en hergebruik van afvalstoffen", oktober 1988), het gebruik van duurdere kunststoffen in een aantal NFKC's (mits technisch herverwerkbaar) en wellicht het beschikbaar komen van nieuwe technieken, zijn lichtpuntjes voor de kunststoffenrecyclingbranche.



### 3. INVENTARISATIE VAN AFGEDANKTE COMPUTERS EN RANDAPPARATUUR EN AUDIO- EN VIDEO-APPARATUUR

In dit hoofdstuk komen de twee demonstratieprodukten, computers en rand-apparatuur en audio- en video-apparatuur, aan de orde. Er wordt aandacht besteed aan de levensduur van de apparaten (3.1), de huidige en toekomstige hoeveelheden in het afvalstadium (3.2), de kwalitatieve aspecten van het afval (3.3) en het hergebruik (3.4).

#### 3.1 Levensduur

Bij levensduur wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende soorten. Ten eerste is er de "technische levensduur". Dit is de periode vanaf het moment van aankoop tot het moment dat een apparaat technisch versleten is. Ten tweede is er de "economische levensduur". Dit wordt gedefinieerd als de periode vanaf het moment van aankoop tot het moment dat de gebruiker aan het apparaat geen gebruikswaarde meer toekent. Het verschil tussen technische en economische levensduur is gradueel. Zowel de technische als de economische levensduur beïnvloeden de wat in dit rapport als de "werkelijke levensduur" zal worden aangeduid. Deze werkelijke levensduur is de periode vanaf het moment van aanschaf tot aan het moment van definitieve afdanking.

Bij computers en randapparatuur wordt het moment van afdanking vooral bepaald door de economische levensduur. Dit geldt met name voor apparaten die bij bedrijven worden gebruikt. Technisch gezien zullen veel computers die in het afval terechtkomen, niet (geheel) versleten zijn. Met name het hoge innovatietempo is daar de oorzaak van. Er zal soms sprake zijn van een nog te repareren defect, maar het voordeel van reparatie, die onder andere vanwege de hoge mate van integratie van onderdelen vaak kostbaar is, weegt al snel niet meer op tegen het voordeel om nieuwe apparatuur met een verbeterde prijs-prestatieverhouding aan te schaffen. Tot voor kort werd het moment van afdanken van audio- en video-apparatuur voornamelijk bepaald door de technische levensduur. Ook voor deze apparaten geldt echter dat door een hoog innovatietempo in toenemende mate de economische levensduur de bepalende factor is.

Een groot deel van de audio- en video-apparatuur en de home- en personal computers van particuliere huishoudens wordt na gebruik niet onmiddellijk afgedankt, maar nog lange tijd bewaard.

De werkelijke levensduur van apparaten verschilt per merk, per apparaat en per gebruiker. Op basis van literatuur en uitspraken van deskundigen is de gemiddelde werkelijke levensduur van computers en randapparatuur geschat (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Geschatte werkelijke levensduur computers en randapparatuur

| Apparaat                          | Geschatte werkelijke levensduur |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| Microcomputers bij bedrijven      | 5 à 6 jaar                      |
| Microcomputers bij huishoudens    | 7 à 9 jaar                      |
| Randapparatuur en grote computers | 6 à 9 jaar                      |

De volgende tabel geeft de schattingen voor audio- en video-apparaten.

Tabel 3.2 Geschatte werkelijke levensduur audio- en video-apparatuur

| Apparaat                   | Geschatte werkelijke levensduur |
|----------------------------|---------------------------------|
| Zwart/wit televisietoestel | 12 jaar                         |
| Kleurentelevisietoestel    | 10 jaar                         |
| Videorecorder              | 7 jaar                          |
| Radio/tuner/versterker     | 15 jaar                         |
| Platenspeler               | 15 jaar                         |
| Cassettrecorder            | 10 jaar                         |
| Compact-discspeler         | 7 jaar                          |

Door modernisering/aanpassing en door tweedehands gebruik kan de levensduur van bestaande apparaten worden verlengd. Bij computers is de handel in tweedehands apparaten nog beperkt. Het gaat vooral om de grote, kostbare machines, zoals mainframes en mini's, die door sommige computerfabrikanten zelf of via internationaal opererende "brokers" aan een nieuwe

eigenaar worden geholpen. Voor de kleinere computerapparatuur, zoals hobbycomputers, personal computers, tekstverwerkers en printers, zijn de mogelijkheden op de tweedehandsmarkt beperkt. Door de verbeterde prijs-prestatieverhouding van nieuwe machines is het nauwelijks interessant om een gebruikte machine aan te schaffen. Eén en ander geldt in versterkte mate voor de minder courante merken, omdat daarvoor vaak geen software, reserve-onderdelen, technische informatie of uitbreidingskaarten meer te verkrijgen zijn.

### 3.2 Hoeveelheden in het afvalstadium

#### 3.2.1 Computers en randapparatuur

Tabel 3.3 geeft inzicht in de hoeveelheden computerafval, die in de komende jaren zullen vrijkomen. Het gaat om hoeveelheden die verwacht kunnen worden bij de eindgebruikers. De verouderde voorraden bij de handel, de produktie-overschotten van de fabrikanten en het procesafval van de fabrikanten zijn dus buiten beschouwing gebleven. Tevens is geen rekening gehouden met de herverdeling van gebruikte apparatuur door de tweedehandshandel of met het feit dat afval voor een deel vrij zal komen bij leasemaatschappijen en reparateurs.

Van de grote computers (mainframes, minicomputers) waren geen gegevens beschikbaar om prognoses voor het afvalstadium te kunnen maken.



Tabel 3.3 Schattingen van hoeveelheden computerafval, uitgesplitst naar soort en bron (ton/jaar)

|                | Part. huish. |           | Bedrijven |           | Overheidsinst. |           | Totaal |           |
|----------------|--------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|--------|-----------|
|                | 1988         | 1990-1993 | 1988      | 1990-1993 | 1988           | 1990-1993 | 1988   | 1990-1993 |
| Kleine comp.*  | ≤500         | 1000-3000 | ≤500      | 500-1000  | ≤200           | 100-300   | ≤1200  | 1600-4300 |
| Grote comp.**  | 0            | 0         | ?         | ?         | ?              | ?         | ?      | ?         |
| Termin.        | 0            | 0         | ≤300      | 550-650   | ≤100           | 50-150    | ≤400   | 600-800   |
| Tekst-verw.*** | ?            | ?         | ≤100      | 100-200   | ≤ 50           | ≤50       | ≤150   | 100-250   |
| Printers       | ?            | ?         | ?         | ?         | ?              | ?         | ?      | 2000-3000 |
| ****<br>Totaal | ≤500         | 1000-3000 | ≤900      | 1150-1850 | ≤350           | 150-500   | ≤1750  | 4300-8350 |

\* Computers tot f 20.000,-. Het betreft de hobby en personal computers van particuliere huishoudens en de personal computers van bedrijven en overheidsinstellingen.

\*\* Computers van f 20.000,- en meer (met name de minicomputers en de mainframes).

\*\*\* Het totaal geldt voor de tekstverwerkers bij bedrijven en overheidsinstellingen. Het aantal tekstverwerkers bij particuliere huishoudens is niet bekend.

\*\*\*\* Totaal van de bekende hoeveelheden.

Van de kleine apparaten (home- en personal computers, terminals, tekstverwerkers, monitors en kleine printers) zal begin jaren negentig ongeveer 50-60% vrijkomen bij particuliere eindgebruikers, 30-40% bij bedrijven en 10% bij overheidsinstellingen.

### 3.2.2 Audio-/video-apparatuur

Tabel 3.4 geeft schattingen van de hoeveelheden audio- en video-apparatuur. In deze tabel betreft het hoeveelheden, die door de particuliere eindgebruikers worden afgedankt. Er is geen rekening gehouden met een herverdelingseffect via reparatiebedrijven, opkopers en verhuurbedrijven. De hoeveelheden van bedrijven-eindgebruikers zijn relatief waarschijnlijk zeer gering. Audio- en video-apparatuur is voor het grootste deel in gebruik bij huishoudens (circa 95%).

Tabel 3.4 Schatting van de hoeveelheid door particuliere huishoudens afgedankte audio- en video-apparaten \*

|                           | 1987      |        | 1995-2000 |        |
|---------------------------|-----------|--------|-----------|--------|
|                           | Stuks     | Ton    | Stuks     | Ton    |
| Televisietoestellen (kl.) | 300.000   | 9.000  | 700.000   | 21.000 |
| Televisietoestellen (zw.) | 225.000   | 6.750  | 100.000   | 3.000  |
| Videorecorders            | 70.000    | 1.050  | 400.000   | 3.200  |
| Camerarecorders           | -         | -      | 100.000   | 200    |
| Radiotoestellen           | 230.000   | 1.850  | 900.000   | 4.500  |
| Platenspelers             | 200.000   | 1.000  | 350.000   | 1.750  |
| Cassetterecorders         | 250.000   | 1.250  | 700.000   | 2.100  |
| Compact-discspelers       | -         | -      | 400.000   | 1.200  |
| Totaal                    | 1.275.000 | 20.900 | 3.650.000 | 36.950 |

\* De hoeveelheden, die vrijkomen in de beginjaren negentig, zijn gegeven in tabel 5.1.

### 3.3 Hergebruik

De recyclingbranche is momenteel niet geïnteresseerd in de kleine computerapparatuur (homecomputers, personal computers, tekstverwerkers, monitors, terminals, kleine printers) of de audio- en video-apparatuur. Zowel de absolute hoeveelheid edele metalen per apparaat als de concentratie daarvan, wordt door de schroothandelaren te laag bevonden.

Daartegenover staat bovendien een hoog gehalte niet of moeilijk te recycleren materiaal, waarvoor bij afvoer kosten zouden moeten worden gemaakt. Omdat de apparaten vaak handmatig zouden moeten worden gesloopt (kosten ongeveer f 50,- per uur) en omdat de inzameling van dit soort apparaten in de huidige situatie (relatief weinig apparaten bij veel bronnen) kostbaar zou zijn, vindt men hergebruik niet of nauwelijks rendabel.

De grotere apparaten (mainframes, mini's, printers) komen over het algemeen wel in een recyclingcircuit terecht. Het gaat de computerschroot-handel hierbij vooral om de edele metalen, zoals goud, zilver, platina en palladium uit printplaten en stekkers. Daarnaast heeft men inkomsten uit de verkoop van koper (kabels, trafo's), aluminium, staal (constructiedelen) en enige "bijzondere" metalen (bijvoorbeeld kobalt).

In Nederland is geen verwerkingsindustrie meer aanwezig, die de metalen uit de printplatenfractie herwint. Het wordt daarom geëxporteerd naar de B.R.D., België of Engeland.

De kunststofcomponent uit deze apparaten wordt momenteel niet hergebruikt. Deze fractie voert men af naar de stort of de afvalverbranding. Het aantal verschillende soorten kunststof in combinatie met de moeilijkheid deze te determineren; de bewerkelijkheid in combinatie met de lage opbrengstprijs en de aanwezigheid van vreemde materialen op de kunststoffen (bijvoorbeeld stickers, (metaal)coatings en resten van metalen) vormen daarbij knelpunten.



#### 4. INZAMELING DEMONSTRATIEPRODUKTEN

Kleine computers en randapparatuur en audio- en video-apparatuur komen voor in het huishoudelijk afval, het grofvuil en in het bedrijfsafval. Over het algemeen worden zij momenteel niet hergebruikt. Indien deze produkten voor recycling in aanmerking willen komen, zullen ze in voldoende grote hoeveelheden, gescheiden van andere afvalstromen, moeten worden geconcentreerd. Bij potentiële inzamelsystemen wordt onderscheid gemaakt tussen haal- en brengmethoden.

##### 4.1 Haalmethoden

De haalmethoden zou men moeten richten op afgedankte apparaten, die bij het grofvuil van huishoudens of kleine bedrijven worden aangeboden <sup>2)</sup>. De inzameling kan tegelijk met de grofvuilinzameling plaatsvinden. De apparaten worden dan op de wagen of achteraf, bij een overslagstation, gescheiden (methode A). Het is ook mogelijk de apparaten apart van het grofvuil in te zamelen met een tweede inzamelwagen van de gemeente of een recuperant (methode B).

De belangrijkste voordelen van deze methoden zijn het gemak voor de aanbieders van de apparaten en het feit dat deze methoden in sommige gemeenten relatief gemakkelijk zijn in te passen in bestaande inzamel-systemen.

De belangrijkste nadelen van deze methoden zijn:

- Afgedankte apparaten, die momenteel vermengd met huishoudelijk of bedrijfsafval worden afgevoerd, krijgt men niet te pakken.
- In 50% van de gemeenten vindt geen gescheiden inzameling van het grof-  
vuil plaats.

---

<sup>2)</sup> Ook grote hoeveelheden afgedankte apparaten, die (incidenteel) bij fabrikanten, handelaren, opkopers of reparateurs vrijkomen, komen, nadat ze bij de bedrijven in containers zijn verzameld, in aanmerking voor een haalsysteem. In dit rapport zal deze deelstroom van het bedrijfsafval qua inzamelproblematiek echter buiten beschouwing blijven.

Een extra nadeel van methode A is dat bij gemeenten, die het grofvuil wel gescheiden inzamelen, scheiding achteraf vaak niet mogelijk is. De inzameling geschiedt hier met een kraakperswagen.

De kosten voor inzameling, overslag en transport naar de recyclingindustrie worden voor deze haalmethoden geschat op respectievelijk f 150,- à f 250,- per ton (methode A) en f 200,- à f 350,- per ton (methode B). Bij deze bedragen moet nog een onbekend bedrag voor sorteringskosten worden opgeteld.

#### 4.2 Brengmethoden

Gezien de relatief hoge kosten van een haalsysteem, heeft een brengsysteem, gestimuleerd door een statiegeldregeling, uit financieel oogpunt de voorkeur. Mits de statiegeldpremie hoog genoeg is, zullen mensen waarschijnlijk bereid zijn afgedankte apparaten in te leveren bij daarvoor aangewezen lokaties. Op deze wijze zouden tegen relatief lage kosten, naast de apparaten die momenteel in het grofvuil terechtkomen, ook de apparaten uit het huishoudelijk en bedrijfsafval kunnen worden ingezameld. Ook de effectiviteit van zo'n statiegeldsysteem zou daarom, wat betreft de ingezamelde hoeveelheden, beter kunnen zijn dan bij de in de vorige paragrafen beschreven haalsystemen.

Een ander voordeel van een statiegeldsysteem is dat het de bewustwording van de afvalproblematiek bij de consument bevordert.

Een nadeel van een statiegeldsysteem is dat het vooral bij de aanbieders van afgedankte apparaten extra inspanningen vereist. De bereidheid van de consument om statiegeld voor apparaten te betalen lijkt echter groot. In een recent uitgevoerd onderzoek van Burke Interview B.V. blijkt dat 85% van de ondervraagde Nederlanders bereid was ter bescherming van het milieu bij de aankoop van - in dit geval - een koelkast, statiegeld te betalen.

Een ander nadeel van een statiegeldsysteem is dat het pas op de langere termijn effectief wordt. Voor alle produkten, die momenteel in omloop zijn en waarop dus geen statiegeld rust, is het geen oplossing. De inzameling van deze produkten zou kunnen geschieden via een van de boven-

89-087/C1/R.22/IVS

4-3

genoemde haalsystemen of door middel van een brengsysteem, zonder vergoeding of gestimuleerd door een geringe retourpremie.

De kosten voor inzameling, overslag, en transport naar de recycling-industrie worden bij een statiegeldsysteem geschat op f 50,- à f 100,- per ton.



## 5. VERWERKING AFGEDANKTE COMPUTERS EN AUDIO- EN VIDEO-APPARATUUR

In een procesinstallatie zullen de volgende apparaten verwerkt worden:

- \* audio-/video-apparatuur;
  - . televisie
  - . videorecorder
  - . radio/tuner
  - . versterker
  - . platenspeler
  - . cassettedeck/-recorder
  - . tapedeck/-recorder
  - . compact disc speler
  - . transistorradio/walkman
- \* personal computer
  - . centrale verwerkingseenheid (microprocessor)
  - . toetsenbord
  - . monitor
  - . printer

Elk apparaat bevat veelal een aantal NFKC's. Daarnaast kunnen onderdelen als specifieke NFKC's gezien worden. Een voorbeeld vormt de printplatenfractie. In dit stadium is er geen specifieke keuze gemaakt en worden beide apparatengroepen, met specifieke onderdelen, verwerkingstechnisch gezien beschouwd. Aangezien in het begin van de jaren negentig verwerkingseenheden gerealiseerd zouden kunnen zijn, is uitgegaan van de dan vrijkomende hoeveelheden (de hoeveelheden liggen tussen die genoemd in de tabellen 3.3 en 3.4; tussen heden en eind jaren negentig).

### 5.1 Karakterisering

Zoals uit 3 af te leiden is, zal in het begin van de jaren negentig jaarlijks ca. 30.000 ton elektronische apparatuur vrijkomen en verwerkt dienen te worden.

Deze apparaten bevatten belangrijke hoeveelheden ferro, non-ferro's en kunststoffen. Daarbij is het glasaandeel relatief groot, vanwege de grote aantallen tv's, en op termijn monitors, die afgedankt worden.

In het kader van dit onderzoek zijn meerdere samenstellingsanalyses van audio-/video-apparatuur en personal computers uitgevoerd. Deze karakterisering is nodig, aangezien er relatief weinig bekend is over de samenstelling van genoemde apparatuur.

Van de volgende apparaten zijn de gehalten aan specifieke materialen/onderdelen bepaald:

- . kleurentelevisies
- . personal computers
- . videorecorders
- . tuner-versterkers
- . aparte versterkers
- . cassettedecks, -recorders
- . platenspelers
- . midisets
- . radio-cassetterecorders.

Daartoe zijn apparaten aangeschaft, selectief ontmandeld en is de samenstelling op basis van gewichtsverdeling naar materialen/onderdelen bepaald. In tabel 5.1 is samengevat welke apparatenstroom technisch verwerkt zal worden.

In tabel 5.2 is de samenstelling van een gemiddelde beeldbuis gegeven.

Tabel 5.2 Materialenverdeling "gemiddelde" beeldbuis

|                   | Gewichtsverdeling (%) |
|-------------------|-----------------------|
| Afbuigspoel ; Cu  | 1,1                   |
| kunststoffen      | 2,6                   |
| Elektronenkanon   | 0,2                   |
| Glazen voorplaat  | 48,9                  |
| Konische glaswand | 32,6                  |
| Raster (Fe)       | 7,5                   |
| Rasterkap (Fe)    | 1,3                   |
| Ophangrand (Fe)   | 5,8                   |

Uit een nadere karakterisering van de grotere kunststof onderdelen blijkt dat slagvast polystyreen veruit de meest toegepaste kunststof is.

89-087/C1/R.22/IVS

5-3

Daarnaast worden acrylonitrilbutadieenstyreen (ABS) en polypropyleenoxide (PPO) nogal eens verwerkt tot onderdelen. Andere kunststoffen, zoals polycarbonaat (PC) en polyvinylchloride (PVC), worden nog af en toe in grotere onderdelen toegepast.



Tabel 5.1 Te verwerken apparatenstroom (begin jaren negentig)

|                                                                                   | Kleuren<br>tv | Zwart-wit<br>tv | Personal<br>computer | Video-<br>recorder | Tuner/<br>Tuner-versterker | Versterker | Cassette-<br>deck | Platen-<br>speler | Totaal    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------------------|--------------------|----------------------------|------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Aantal/j                                                                          | 415.000       | 145.000         | 110.000              | 160.000            | 450.000                    | 180.000    | 430.000           | 384.000           | 2.274.000 |
| Hoeveelheid (ton/j)                                                               | 15.040        | 4.350           | 1.760                | 2.400              | 3.150                      | 1.530      | 1.500             | 1.540             | 31.200    |
| Materialen/<br>onderdelen (ton/j)                                                 |               |                 |                      |                    |                            |            |                   |                   |           |
| Beeldbuis, incl.<br>afbuigspoel                                                   | 9.174         | 2.654           | 340                  |                    |                            |            |                   |                   | 12.168    |
| Omkastings:<br>- hout                                                             | 2.632         | 761             |                      |                    | 340                        |            |                   |                   | 3.733     |
| - kunststof                                                                       | 722           | 209             | 480                  | 535                |                            |            | 128               | 634               | 2.708     |
| - Fe                                                                              |               |                 | 261                  | 734                |                            | 434        | 440               |                   | 1.869     |
| - Al                                                                              |               |                 |                      |                    |                            | 87         | 96                |                   | 183       |
| Overige kunststoffen                                                              | 211           | 61              |                      |                    | 529                        |            | 15                | 324               | 1.140     |
| Overige metalen:                                                                  |               |                 |                      |                    |                            |            |                   |                   |           |
| - Fe                                                                              | 211           | 61              | 116                  |                    | 690                        | 331        | 261               | 186               | 1.856     |
| - Al                                                                              | 180           | 52              | 109                  | 141                | 284                        | 66         |                   | 9                 | 841       |
| Luidsprekers, bedra-<br>ding, aansluit-<br>materiaal, trafo's<br>motoren, spoelen |               |                 |                      |                    |                            |            |                   |                   |           |
| - Fe                                                                              | 111           | 32              | 90                   | 304                | 337                        | 227        | 58                | 176               | 1.335     |
| - Cu                                                                              | 92            | 27              | 91                   | 216                | 392                        | 250        | 102               | 131               | 1.301     |
| - Kunststoffen                                                                    | 97            | 28              | 38                   | 40                 | 27                         | 23         | 43                | 22                | 318       |
| Printplaten                                                                       | 1.609         | 465             | 239                  | 437                | 554                        | 112        | 258               | 60                | 3.734     |

De printplaten zijn nader geanalyseerd op zeldzame, hoogwaardige, te hergebruiken metalen. In tabel 5.3 is een drietal analyses gegeven.

Tabel 5.3 Analyses van printplatenfracties

|    | Printplatenfractie             |                              |                              |
|----|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|    | Pcnieuw <sup>1)</sup><br>(ppm) | Mixed <sup>2)</sup><br>(ppm) | Pcoud <sup>3)</sup><br>(ppm) |
| Au | 108                            | 74                           | 51                           |
| Ag | 32                             | 120                          | 132                          |
| Pt | <4                             | <4                           | <4                           |
| Pd | 200                            | 168                          | 29                           |
| Ga | <6                             | <6                           | <6                           |
| Ge | 44                             | 16                           | 48                           |

1) printplatenfractie van relatief nieuwe personal computers

2) printplatenfractie van een aantal audio-/video-apparaten

3) printplatenfractie van relatief oude personal computers

Samengevat kan de karakterisering als volgt omschreven worden:

- . Metalen worden gedeeltelijk gesubstitueerd door kunststoffen.
- . Daarentegen blijven ferro en non-ferro nog belangrijke toegepaste materialen.
- . Bij de tv's vormt de beeldbuis 50-65% van het totaalgewicht. Behalve glas, bevat de stroom elektronische apparatuur nog een behoorlijke hoeveelheid houtprodukten, naast metalen en kunststoffen.
- . Bij de audio-/video-apparaten en personal computers vormt het elektronikagedeelte met aansluitende onderdelen (complete printplaten (= printplaten met onderdelen), condensatoren, trafo's, bedrading, spoelen, contacten, schakelaars) een belangrijk gedeelte (15 à 40%) van het totaal gewicht. Veelal bedraagt het gewichtsaandeel van de complete printplaten 10 à 20%.
- . Non-ferro's, die in relatief grote hoeveelheden toegepast worden, zijn: Al, Cu, Pb, Sn.
- . Edele, hoogwaardige non-ferro's, die toegepast worden, zijn Ag, Au, Pd.

- . Milieubelastende metalen (metalloïden), die toegepast worden, zijn Pb, Sb, As, Cd en milieubelastende additieven in kunststoffen zijn onder andere de broomverbindingen.
- . Omkastingen van kunststof bestaan voor een belangrijk deel uit slagvast polystyreen.
- . PVC (polyvinylchloride) is een belangrijk toegepast kabelmateriaal.
- . Als printplaatmateriaal wordt onder andere polyphenyleensulfide toegepast.
- . Door materialensubstitutie (onder andere metalen door kunststoffen), integratie van onderdelen en miniaturisering (onder andere de elektronica-componenten) neemt het gewicht van verschillende apparaten in de tijd gezien af.
- . Er is sprake van combinaties van een aantal grote onderdelen in combinatie met vele kleine. Enkele "grote" onderdelen (op gewichtsbasis) zijn: Omkasting, beeldbuis, frame, kabelmateriaal, printplaten, trafo's.
- . Belangrijke toegepaste verbindingvormen zijn: Schroef-, las-, soldeer-, lijm-, klemverbindingen.

## 5.2 Opzet verwerkingsprocessen

Aangezien nagenoeg alle mogelijk toepasbare verbindingvormen in elektronische apparatuur voorkomen, is er niet direct een relatie te leggen tussen deze vormen en de toe te passen technieken. Bij het verbreken van de verbindingen komen daarom meer algemene methoden, zoals verkleinen, in aanmerking. Uitzonderingen zouden grotere specifieke onderdelen kunnen zijn, die met specifiek daarvoor ontworpen gereedschap verwijderd worden.

Uit de karakterisering blijkt dat glashoudende apparaten (kleurentelevisies, zwart-wittelevisies, monitors computers) dominant aanwezig zijn in de afgedankte apparatenstroom.

Verwerking, inclusief verkleining van de totale stroom, zou de glashoudende stroom met de niet-glashoudende vermengen en verontreinigen. Het resultaat zou zijn dat inferieure materiaalstromen uit een potentieel verwerkingsproces afgescheiden zouden worden.



Daarom worden de beeldbuizen selectief verwijderd en apart verwerkt. Om nog meerdere weinig vervuilde materialen te kunnen afscheiden wordt de handmatige, met geavanceerd gereedschap ondersteunde, ontmanteling uitgebreid tot de verwijdering van omkastingen en (de belangrijkste) printplaten.

De verwerking van afgedankte complexe goederen vereist de inzet van geavanceerde, veelal nog te ontwikkelen, scheidings- en ontmantelings-technieken. In een overgangsfase zal de inzet van handmatige sloop, ondersteund door "slim" gereedschap onontbeerlijk zijn. Vanuit deze optiek zijn de voorgestelde verwerkingsprocessen opgezet.

### 5.3 Centrale voorbereiding

In figuur 5.1 is geïllustreerd welke stappen de te verwerken afgedankte apparatuurstroom doorloopt. De stapsgewijze routing is als volgt:

- . Bij de inname wordt de aangeboden stroom gesplitst in tweeën: Een glashoudende en een niet-glashoudende stroom. Gemakshalve worden de pc's bij de glashoudende stroom gerekend, aangezien het nogal eens voorkomt dat de monitor boven op de pc bevestigd is. Uit het blok-schema van figuur 5.1 blijkt dat deze keuze verder geen repercussies heeft.
- . Als eerste stap volgt de handmatige sloop.

Van de glashoudende stroom worden de volgende onderdelen verwijderd:

- \* Beeldbuizen
- \* Omkastingen
- \* Printplaten.

Van de niet-glashoudende stroom worden de volgende onderdelen verwijderd:

- \* Omkastingen
- \* Printplaten.

De omkastingen worden afgescheiden, opdat de overige onderdelen, beeldbuizen en printplaten, bereikbaar komen voor selectieve sloop. De beeldbuizen worden afgescheiden, omdat verkleining van dit brosse materiaal resulteert in fijn materiaal, dat tijdens de verkleinings-

stap met de overige materialen intens vermengd wordt.

De printplaten worden (eventueel gedeeltelijk) afgescheiden om enerzijds de mogelijkheid van onderdelenhandel open te houden en anderzijds een relatief schone fractie te verkrijgen voor de hydrometallurgische afscheiding van edele, hoogwaardige metalen.

- . Na de selectieve verwijdering van omkastingen, beeldbuizen en printplaten worden de residustromen van beide bovengenoemde fracties samengevoegd voor verdere integrale verwerking.
- . De nu verkregen stroom passeert een tweetrapsverkleining, een voor- en een naverkleining, opdat de onderling verbonden materialen voldoende vrijkomen.
- . Met behulp van een magneet wordt de ferrofractie afgescheiden.
- . Aluminium en koper kunnen daarna afgescheiden worden door middel van een Eddy current-scheidingstechniek.
- . De nog resterende "elektronikafractie" bestaat uit niet vooraf afgescheiden printplaten, kunststoffen en mogelijk ook metalen, keramiek, etc., omdat de reeds toegepaste technieken niet met 100% rendement functioneren.

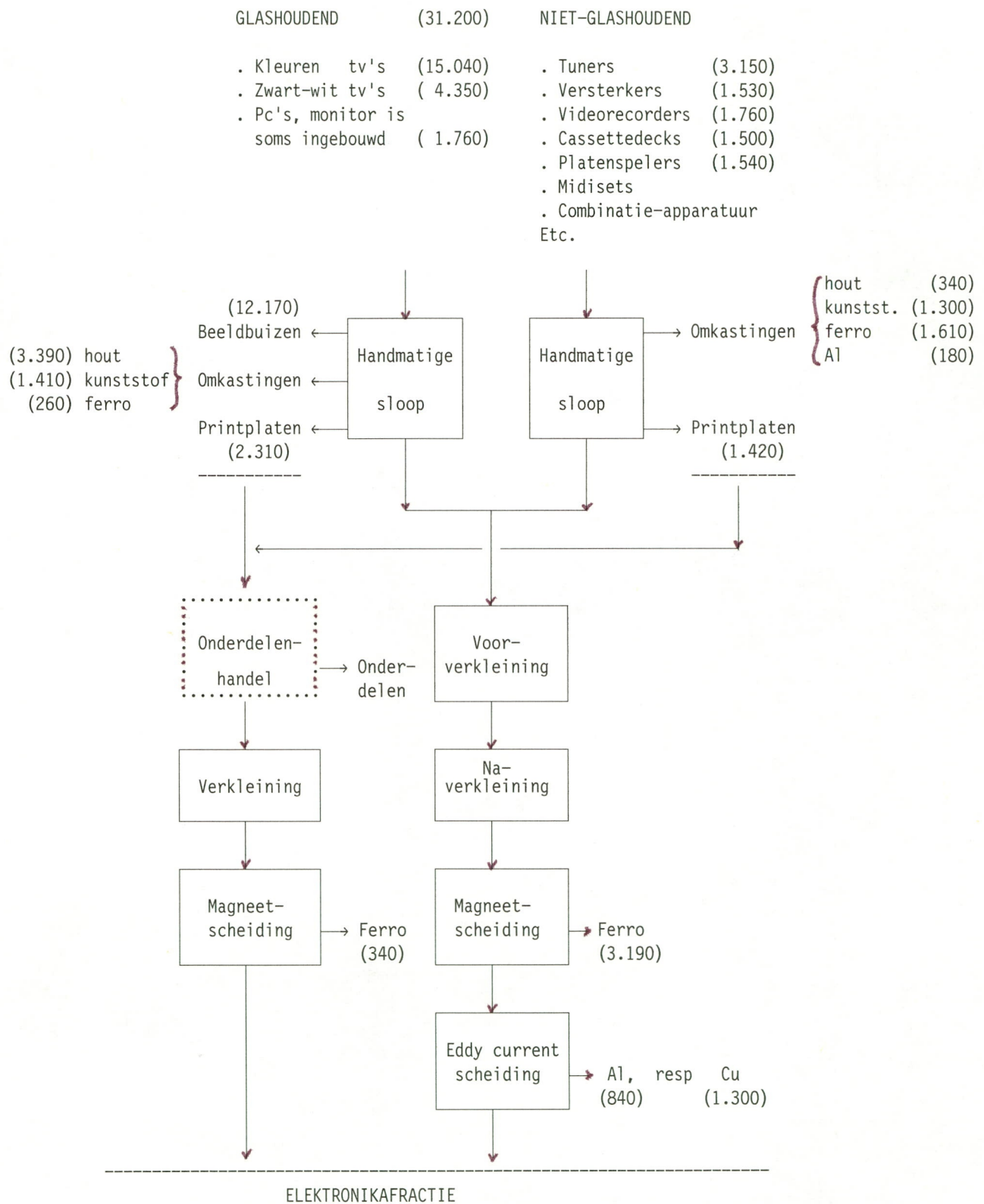


Fig. 5.1 De centrale voorbewerking, inclusief massastromen  
(tussen haakjes staan de hoeveelheden in ton/j)



Indien voor een minder intensieve ontmanteling vooraf gekozen wordt, zal een grotere massastroom het proces doorlopen, hetgeen inhoudt dat de "elektronikafractie" in belangrijkere mate verontreinigd zal zijn met hout, kunststoffen en bulkmetalen.

#### 5.4 Verwerking beeldbuizen

In figuur 5.2 is geïllustreerd uit welke stappen een mogelijk proces voor de verwerking van beeldbuizen is opgebouwd.

De stapsgewijze verwerking is als volgt:

- . De beeldbuizen worden gesorteerd en op een zodanige wijze automatisch gericht en verankerd, zodat de volgende procesmatige handeling uitgevoerd kan worden.
- . Deze handeling bestaat uit het overdwars "doorsnijden" ("doorzagen") van de beeldbuis; zie figuur 5.2. Het "doorsnijden" geschiedt met een waterstraal onder hoge druk (of laserstraal; een nog te onderzoeken optie). De twee verkregen delen volgen een apart proces.
- . De glazen voorplaten bevatten aan de binnenzijde een luminescerende laag. Deze laag voorkomt dat een relatief zuivere glasfractie afgescheiden kan worden. Momenteel kan deze laag nog cadmiumverbindingen bevatten. Men zoekt naar lanthanide-ionen of verbindingen, die luminescerende eigenschappen bezitten. Voorbeelden zijn Terbium, Europium en Cerium in  $\text{TbF}_3\text{:ZnS}$  (groen), Eu-doping (rood) en  $\text{Ce:SrS}$  (blauw). Door deze laag van het glas te spoelen en op te lossen, blijft relatief zuiver hoogwaardig glas over. Mogelijkerwijs biedt het in de toekomst perspectieven om de zeldzame aarden uit de oplossing terug te winnen.  
Ca. 1-2 ton poeder/jaar dient opgelost te worden.
- . Het hoogwaardige glas wordt verkleind. Deze zuivere fractie kan eventueel afgezet worden in de glasindustrie.
- . De tweede fractie (de konische glaswand met bijbehorende onderdelen) wordt verkleind ten behoeve van het vrijmaken van de diverse materialen.
- . Na de verkleiningsstap wordt met behulp van een magneet de ferrofractie afgescheiden.

- . Het koper wordt afgescheiden door middel van de toepassing van een Eddy current-scheidingstechniek.
- . De laatste stap, de drijf/zinktechniek, geeft de afscheiding van een glasfractie, die mogelijkwerwijs voor relatief laagwaardige toepassingen afzetkanalen vindt, maar naar alle waarschijnlijkheid gestort zal moeten worden.

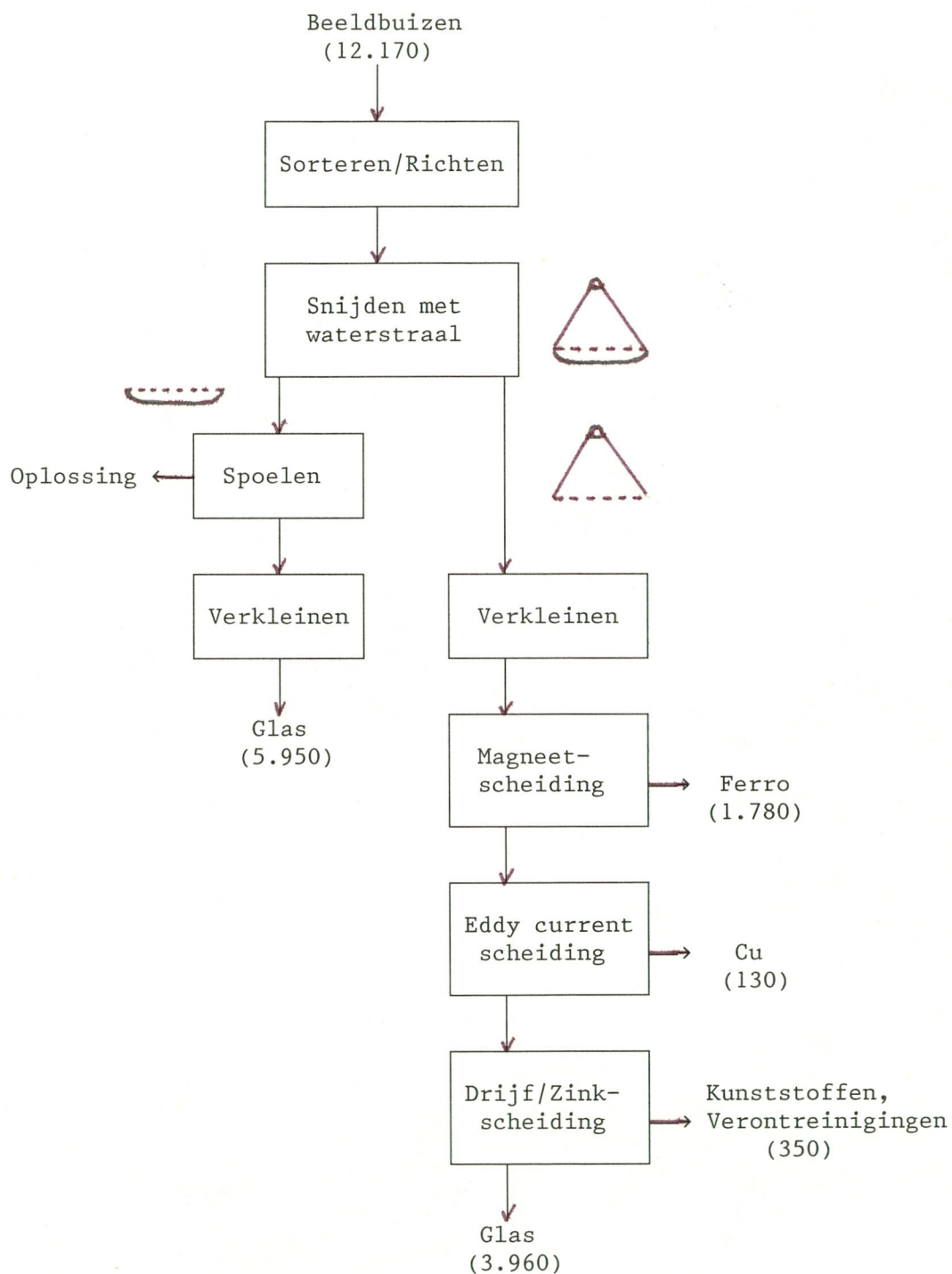


Fig. 5.2 Verwerking beeldbuizen  
(tussen haakjes staan de hoeveelheden in ton/j)

De optie van direct verkleinen en daarna terugwinning van metalen blijft als alternatief aanwezig, indien er uit bedrijfseconomische overwegingen



geen afzetmogelijkheden zijn voor het glas. De proceskosten van deze alternatieve route zullen lager zijn.

In het kader van het vermijden van te storten afval blijft de optie van glashergebruik open.

Nader onderzoek zal dienen aan te tonen of er perspectieven zijn voor het hergebruik van het glas.

### 5.5 Verwerking printplatenfractie

De verwerking van de printplatenfractie (de elektronikafractie) bestaat uit een pyro- en een hydro-stap:

- . De printplatenfractie ondergaat een pyrolytische bewerking:

- ≡ Afscheiding van lood/tin-soldeer (dit materiaal heeft een laag smeltpunt).

- ≡ Afscheiding van de kunststoffen in de vorm van pyrolyseprodukten.

Naar alle waarschijnlijkheid zullen beide materialen in één apparaat (eventueel met een temperatuurgradiënt) afgescheiden worden. Het soldeer wordt als vloeistof afgetapt en de kunststoffen reageren tot pyrolyseprodukten, die bij verhoogde temperatuur voornamelijk in gasvorm onttrokken worden. De brandbare componenten van de pyrolyseprodukten kunnen als energiedrager hergebruikt worden.

- . Het onder reducerende omstandigheden ontstane residu wordt verwerkt met behulp van hydrometallurgische technieken, nadat het in oplossing gebracht is. Met deze technieken worden in ieder geval de metalen koper, goud, zilver en palladium en eventueel platina en rhodium afgescheiden.

- . De opbrengst van genoemde metalen zal de verdere opwerking en afzet naar een definitieve eindbestemming van de overblijvende verontreinigde oplossing bekostigen.

Mede op basis van de resultaten van de pyrolyse van elektronika-afval in West-Duitsland en eigen inzichten is gekozen voor een thermische voorbewerking onder reducerende omstandigheden.

## 6. BESTEMMING HERWONNEN MATERIALEN EN RESIDUEN

Bij de handmatige sloop worden de afgescheiden materialen reeds apart gehouden, zodat er in principe zuivere, afzetbare fracties ontstaan. Ferro en aluminium zijn zonder moeite direct verhandelbaar. Hout kan afgezet worden als brandstof (of eventueel als grondstof voor de fabricage van persprodukten).

De kunststoffen bestaan voor het overgrote deel uit slagvast polystyreen. Een geoefend sloper zal na verloop van tijd deze kunststof van de overige kunnen onderscheiden. Na eventuele scheiding op kleur kunnen afzetbare fracties worden verkregen. (De PS-fractie uit audio/video-apparatuur is nagenoeg altijd zwart.)

Daarnaast worden de metalen ferro, aluminium en koper door middel van de magneet- en eddy-currentscheiding in de centrale voorbereiding afgescheiden. De metalen zijn naar alle waarschijnlijkheid direct afzetbaar bij de smelterijen (zie figuur 2.1). Dit geldt in principe ook voor de metalen ferro en koper die bij de beeldbuizenverwerking afgescheiden worden.

De processen zijn zodanig opgezet, dat een maximaal hergebruik nastreefd wordt. Dit houdt in principe in dat voor de afgescheiden glasfracties naar hergebruikcircuits gezocht wordt. Het hoogwaardige verkleinde glas van de voorplaten van de beeldbuizen kan mogelijkerwijs in de glasindustrie afgezet worden. Het glas van de konische glaswand komt voor relatief laagwaardige toepassingen in aanmerking (bijvoorbeeld vulstoffen in bouwmaterialen, funderingsmaterialen).

Bij de verwerking van de elektronikafractie (onder andere printplaten) komen hoogwaardige metalen (of verbindingen) vrij, die afgezet worden in de non-ferroverwerkende industrie (Pb, Sn, Cu, Ag, Au, Pd, enz.). De gevormde brandbare pyrolyseprodukten kunnen als energiedrager hergebruikt worden.

Als alternatieve optie blijft gehandhaafd dat de elektronikafractie direct bij de metaalverwerkende industrie wordt afgezet (bijvoorbeeld bij Metallurgie Hoboken Overpelt, België).

Nader te onderzoeken technische en economische randvoorwaarden zullen bepalen of er ruimte is voor een separate hydrometallurgische route voor de verwerking van elektronika-afvallen, zoals printplaten.

Voor de eindbestemming van de afgescheiden residuen gelden 3 mogelijkheden:

- . Stortlocatie; dit geldt voor niet afzetbare anorganische residuen, zoals niet afzetbare glasfracties.
- . Verbrandingsinstallatie; dit geldt voor niet afzetbare brandbare residuen, zoals sommige hout- en kunststof fracties (afkomstig uit de verwerking en de beeldbuizenverwerking).
- . Deponie chemisch afval; dit geldt voor de afgescheiden residuen uit de verwerking van de elektronikafractie.



89-087/C1/R.22/IVS

7-1

## 7. BEPALING KOSTEN EN BATEN

Bij deze berekeningen is uitgegaan van het feit dat de inzamelstructuur zodanig is, dat alle apparatuur op 1 plaats te zamen komt. Mogelijkerwijs dat de centrale voorbewerking op enkele plaatsen gerealiseerd wordt. Dit zal eerder haalbaar worden als deze (voor)bewerking (eventueel deels) geschikt is voor meerdere apparatuur (afvalstromen). Dit alternatief is in het kader van deze studie niet verder uitgewerkt.

### 7.1 Recyclingkosten en -baten

#### 7.1.1 Centrale voorbewerking

Het belangrijkste deel van dit proces bestaat uit de selectieve ontmanteling (met speciaal daarvoor ontworpen gereedschap).

Omkastingen, beeldbuizen en (belangrijkste) printplaten worden verwijderd van alle aangeboden apparaten; gemiddelde slooptijd: 4 minuten. 1 persoon kan in geval van 1750 effectieve werkuren per jaar 25.250 apparaten van de grotere onderdelen ontdoen; 87 personen zijn benodigd voor de selectieve sloop. Daarnaast is de inzet van een aantal personen noodzakelijk voor de ontvangst, opslag, intern transport afvalstromen en afvoer materialen (13 personen). Bovendien is gerekend met de inzet van personeel voor toezicht, administratie, verkoop en onderhoud (25 personen). De behoefte aan bedrijfsruimten is als volgt verdeeld:

Procesruimte: 20.000 m<sup>3</sup>; magazijn/opslag: 5.000 m<sup>3</sup>; kantoor: 800 m<sup>3</sup>. De investeringen in de gebouwen bedragen ca. 5,5 miljoen gulden. De investeringen voor de voorbewerking zijn in tabel 7.1 samengevat. De kostenopbouw is in tabel 7.2 gegeven.



89-087/C1/R.22/IVS

7-2

Tabel 7.1 Investerings centrale verwerking

| Apparatuur                                                                               | Aantal  | Investerings<br>(capaciteit<br>3 ton/h)<br>(Dfl.) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------|
| Snijmolen                                                                                | 2       | 100.000                                           |
| Hamermolen                                                                               | 2       | 100.000                                           |
| Magneet                                                                                  | 2       | 50.000                                            |
| Eddy-currentscheider                                                                     | 2       | 300.000                                           |
| Transportbanden                                                                          | 200 m   | 600.000                                           |
| Sets handapparatuur                                                                      | 100     | 200.000                                           |
| Vorkheftruck                                                                             | 1       | 50.000                                            |
| Tafels; karren; hulptransport-<br>banden; elektra; aansluiting<br>pneumatiek; onvoorzien | diverse | 200.000                                           |
|                                                                                          |         | 400.000                                           |
| Totaal                                                                                   |         | 2.000.000                                         |

Tabel 7.2 Kosten <sup>1)</sup> centrale voorbereiding

|                                       |       |           |
|---------------------------------------|-------|-----------|
| Aantallen apparaten per jaar          |       | 2.274.000 |
| Totale stroom (ton/j)                 |       | 31.200    |
| Personele kosten:                     |       |           |
| 100 x Dfl 60.000/j                    | (Dfl) | 6.000.000 |
| 25 x Dfl 75.000/j                     | (Dfl) | 1.875.000 |
| Kosten van gebouwen <sup>2)</sup>     | (Dfl) | 600.000   |
| Kosten procesapparatuur <sup>3)</sup> | (Dfl) | 490.000   |
| Totale kosten                         | (Dfl) | 8.965.000 |
| Kosten per ton                        | (Dfl) | 287       |
| Kosten per apparaat                   | (Dfl) | 3,94      |

<sup>1)</sup> Bij de globale kostenberekening zijn de in grootte belangrijkste posten gecalculeerd.

<sup>2)</sup> Geschatte afschrijvingskosten, renteverliezen, verwarmings- en verlichtingskosten, verzekeringen en onderhoud.

<sup>3)</sup> Geschatte afschrijvingskosten en renteverliezen.

89-087/C1/R.22/IVS

7-3

### 7.1.2 Verwerking beeldbuizen

De opbrengsten, de verkoop van ferro, koper en eventueel glas, inclusief de vermeden afvalverwerkingskosten, dienen de aparte verwerking van de beeldbuizen haalbaar te maken. Nader uit te voeren technisch-economisch onderzoek zal aan moeten tonen of de aparte beeldbuisenopwerking (inclusief de geavanceerde snijtechniek) haalbaar is. Hierna volgt de economische ruimte ( $= f\ 637.000 - f\ 1.923.000$ ) voor de in te zetten techniek; a) + b) - c):

- a) Vermeden afvalverwerkingskosten (storten glas, metalen): f 393.000  
 b) Opbrengsten glas en metalen (zie tabel 7.2) : f 1.530.000  
 c) Kosten verwerking residuen (zie tabel 7.5) : f 242.000

### 7.1.3 Verwerking elektronika

De verwerking van de elektronikafractie, voornamelijk printplaten, bestaat uit een pyrometallurgisch en een hydrometallurgisch deel. De inzet van relatief dure technieken is gebaseerd op de potentiële opbrengsten van hoogwaardige, strategische metalen, zoals Au, Ag en Pd. In tabel 7.3 zijn intrinsieke metaalwaarden van printplatenfracties gegeven.

Tabel 7.3 Intrinsieke metaalwaarden printplatenfracties

| Metaal | prijs<br>(Dfl./ton) | Printplaten      |                      |                  |                      |                  |                      |
|--------|---------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|------------------|----------------------|
|        |                     | PC nieuw         |                      | PC oud           |                      | Audio-video      |                      |
|        |                     | gehalte<br>(ppm) | waarde<br>(Dfl./ton) | gehalte<br>(ppm) | waarde<br>(Dfl./ton) | gehalte<br>(ppm) | waarde<br>(Dfl./ton) |
| Al     | 5.000               | 48.000           | 240                  | 47.400           | 237                  | 63.600           | 318                  |
| Ag     | 400.000             | 757              | 303                  | 1.053            | 421                  | 674              | 270                  |
| Au     | 26.000.000          | 108              | 2.808                | 51               | 1.326                | 74               | 1.924                |
| Ge     | 600.000             | 44               | 26                   | 48               | 29                   | 16               | 10                   |
| Cu     | 5.000               | 37.000           | 185                  | 30.000           | 150                  | 44.900           | 225                  |
| Ni     | 38.000              | 3.160            | 120                  | 2.040            | 78                   | 2.980            | 113                  |
| Pd     | 8.250.000           | 200              | 1.650                | 29               | 239                  | 168              | 1.386                |
| Sn     | 7.800               | 31.300           | 244                  | 16.300           | 127                  | 33.400           | 261                  |
| Totaal |                     |                  | 5.576                |                  | 2.607                |                  | 4.505                |

Ondanks dat bij een verwerking de metalen niet volledig ontsloten en geëxtraheerd worden, kan gesteld worden dat een opbrengst van f 3000/ton elektronikafractie haalbaar lijkt. Dit komt overeen met de economische ruimte voor het in te zetten proces.

#### 7.1.4 Opbrengsten materialen en kosten residuen

Het beleid van de nationale overheid is gericht op het nastreven van maximaal hergebruik. In dat licht zijn de in hoofdstuk 5 beschreven processen opgezet. De meeste afgescheiden materialen vinden een hergebruikskanaal. Daarnaast zullen nuttige toepassingen van verschillende fracties gecreëerd dienen te worden (bijvoorbeeld voor de glasfracties).

De opbrengsten van de afgescheiden fracties zijn in tabel 7.4 samengevat.

89-087/R.22/IVS

7-5

Tabel 7.4 Opbrengsten afgescheiden fracties

|                                                     | Hoeveelheid<br>(ton) | Prijs per eenheid *<br>(Dfl./ton) | Opbrengst<br>(Dfl.)  |
|-----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|
| <u>Centraal verwerkingsproces</u>                   |                      |                                   |                      |
| <u>Omkastingen:</u>                                 |                      |                                   |                      |
| . kunststoffen (vnl.slagvast-<br>polystyreen)       | 2.710                | 100- 500                          | 271.000- 1.355.000   |
| . ferro                                             | 1.870                | 100- 300                          | 187.000- 561.000     |
| . aluminium                                         | 180                  | 1.000-3.000                       | 180.000- 540.000     |
| <u>Magneetscheiding</u>                             |                      |                                   |                      |
| . ferro                                             | 3.530                | 100- 300                          | 353.000- 1.059.000   |
| <u>Eddy current scheiding</u>                       |                      |                                   |                      |
| . aluminium                                         | 840                  | 1.000-3.000                       | 840.000- 2.520.000   |
| . koper                                             | 1.300                | 1.000-4.000                       | 1.300.000- 5.200.000 |
| <u>Beeldbuizenverwerking</u>                        |                      |                                   |                      |
| . glas                                              | 5.950                | 30- 80                            | 178.000- 476.000     |
| . ferro                                             | 1.780                | 100- 300                          | 178.000- 534.000     |
| . koper                                             | 130                  | 1.000-4.000                       | 130.000- 520.000     |
| <u>Verwerking elektronika, vnl.<br/>printplaten</u> |                      |                                   |                      |
| . metalen (Au, Ag, Pd, etc.) uit<br>printplaten     | 4.870                | 1.000-3.000                       | 4.870.000-14.600.000 |
| Totaal                                              | 23.160               |                                   | 8.674.000-27.365.000 |

\* Op basis van know-how zijn prijzen per eenheid aangenomen. Daarbij zijn ranges aangegeven, vanwege de schommelende prijzen voor grondstoffen op de wereldmarkt en de kwaliteitsvariatiën voor de afgescheiden fracties, omdat de voeding naar de processen toe ook niet van constante kwaliteit zal zijn.

De kosten van residustromen naar eindbestemmingen (veelal stort- of verbrandingslocaties) zijn in tabel 7.5 gegeven.



89-087/R.22/IVS

7-6

Tabel 7.5 Kosten afgescheiden residufracties

|                                                                   | Hoeveelheid<br>(ton) | Prijs per eenheid<br>(Dfl./ton) | Kosten              |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Centraal verwerkingsproces:<br>. houten omkastingen (verbranding) | 3.730                | 0-125                           | 0- 446.000          |
| Beeldbuizenverwerking:<br>. glas (storten)                        | 3.960                | 0- 50                           | 0- 198.000          |
| . kunststoffen (verbranding)                                      | 350                  | 0-125                           | 0- 44.000           |
| Elektronika verwerking:<br>. residu * (storten)                   | 5.000                | 200-300                         | 1.000.000-1.500.000 |
| Totaal                                                            | 13.000               |                                 | 1.000.000-2.208.000 |

\* Er is aangenomen dat na de verwerking van de elektronikafractie een residustroom van ca. 5.000 ton/j. resteert, die naar een chemische afval-stort afgevoerd dient te worden. Nader onderzoek zal dienen aan te tonen of deze globale aanname wat hoeveelheid betreft correct is.

#### 7.1.5 Economische ruimte voorbewerking

In 7.1.2 en 7.1.3 is gesteld dat de verwerkingen van respectievelijk de beeldbuizen en de elektronikafractie qua kosten gecompenseerd dienen te worden door de opbrengsten van de materialen, inclusief vermeden afval-verwerkingskosten, minus de afvoerkosten van de residuen. Dit geldt in principe ook voor de centrale voorbewerking.

De baten van de centrale voorbewerking zijn:

|                                   |   |                              |
|-----------------------------------|---|------------------------------|
| . Vermeden afvalverwerkingskosten | : | f 725.000                    |
| . Opbrengsten metalen +           |   |                              |
| kunststoffen (zie tabel 7.4)      | : | $f 3.131.000 - f 11.235.000$ |
|                                   |   | $f 3.856.000 - f 11.960.000$ |

De kosten van de centrale voorbewerking zijn:

|                                     |   |                             |
|-------------------------------------|---|-----------------------------|
| . Kosten te verwerken residustromen |   |                             |
| (zie tabel 7.5)                     | : | $f 0 - f 466.000$           |
| . Proceskosten (zie tabel 7.2)      | : | $f 8.965.000$               |
|                                     |   | $f 8.965.000 - f 9.431.000$ |

89-087/R.22/IVS

7-7

Indien baten met kosten vergeleken worden, valt op dat slechts bij hogere opbrengsten van de materialen (mogelijk bij de afscheiding van hoogwaardige kwalitatief goede fracties) de voorbewerking haalbaar wordt.

## 7.2 Maatschappelijke kosten en baten

### 7.2.1 Inzamelkosten

Uit hoofdstuk 4 blijkt dat de inzamelkosten door middel van haalsystemen voor afgedankte apparatuur variëren tussen f 150 en f 350 per ton, afhankelijk van de aarde van het toegepaste inzamelsysteem. Bij invoering van een statiegeldsysteem dalen de kosten voor inzameling, overslag en transport naar de recyclingindustrie tot naar schatting f 50 à f 100 per ton. De gebruikers van de apparaten nemen een deel van de maatschappelijke kosten voor hun rekening door de afgedankte apparaten naar daarvoor ingerichte locaties te brengen. Statiegeld zou voor nieuwe apparatuur kunnen gelden. Voor alle produkten die momenteel in omloop zijn en waarop dus geen statiegeld rust, is het geen oplossing. De inzameling van deze produkten zou vrijwillig of via een haalsysteem of tegen een geringe retourpremie kunnen geschieden.

### 7.2.2 Vermeden afvalverwerkingskosten

In de huidige situatie wordt bij de bepaling of produkten op een rendabele wijze voor recycling in aanmerking komen, over het algemeen geen rekening gehouden met vermeden afvalverwerkingskosten. Wat de demonstratieprodukten betreft, is een belangrijke verklaring daarvoor dat deze diffuus, vermengd met ander afvallen bij de afvalverwijderaars terecht komen. De omvang van vermeden afvalverwerkingskosten van deze relatief kleine fractie is dan moeilijk vast te stellen.

Indien de apparaten worden geconcentreerd, ontstaat het voordeel dat vermeden afvalverwerkingskosten wel eenvoudig kunnen worden opgeteld bij de opbrengsten van recycling. Op deze wijze wint recycling als verwerkingsoptie aan aantrekkelijkheid. Indien bijvoorbeeld de fabrikanten (via een statiegeldregeling) met ingeleverde apparaten worden geconfronteerd en zij niet voor hergebruik zouden kiezen, zouden zij

89-087/R.22/IVS

7-8

immers kosten moeten maken om de apparaten als afval af te voeren <sup>1)</sup>.

Indien geen procesmatige verwerking plaats vindt, zullen de demonstratieprodukten gestort of verbrand dienen te worden.

De maatschappelijke kosten zijn dan:

. Storten - 31.200 ton x f 50/ton = f 1.560.000,

of:

. Verbranden - 31.200 ton x f 125/ton = f 3.900.000

Deze maatschappelijke kosten gaan toenemen, indien afgedankte apparatuur als (klein) chemisch afval (gezien de zware metalen die er in voorkomen) beschouwd wordt: 31.200 ton x f 200 - f 300/ton = f 6.240.000 - f 9.360.000

### 7.2.3 Balans tussen kosten en baten

Er kan gesteld worden dat afgezet tegen de huidige maatschappelijke kosten (indien storten niet meer kan, tussen f 3.900.000 - f 9.360.000) een centrale verwerking van afgedankte elektronische apparaten niet bij voorbaat economisch onhaalbaar is. Vooropgesteld dient te worden, dat een infrastructuur benodigd is om de apparatuur centraal op één plaats te krijgen.

Dat deze optie niet direct bij voorbaat onhaalbaar is, tonen de volgende geldbedragen aan. Hierbij is uitgegaan van een voorbewerking zoals beschreven in 5.3 en 7.1.1; minimale opbrengsten van metalen en kunststoffen en printplaten (elektronikafractie); minimale vermeden maatschappelijke afvalverwerkingskosten en dat er geen aparte beeldbuisopwerking plaats vindt.

---

<sup>1)</sup> De mogelijkheid om fabrikanten te verplichten afgedankte produkten terug te nemen zal waarschijnlijk bij wet geregeld gaan worden in het hoofdstuk "Afvalstoffen" in de Wet algemene bepalingen milieuhygiëne. (Dit wetsvoorstel is in behandeling bij de Raad van State).

89-087/R.22/IVS

7-9

Opbrengsten

|                                                                                             |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| * Minimale vermeden afvalverwerkingskosten<br>(verbranding in een niet-chemische afvaloven) | f 3.900.000        |
| * Metalen, kunststoffen                                                                     | f 3.131.000        |
| * Elektronikafractie bij metaalindustrie                                                    | <u>f 4.870.000</u> |
|                                                                                             | f 11.901.000       |

Kosten

|                                                                                              |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| * Proceskosten centrale voorbereiding                                                        | f 8.965.000      |
| * Bestemming beeldbuizen (stort, aangezien het nagenoeg<br>geen brandbare componenten bevat) | f 609.000        |
| * Residustromen centrale voorbereiding                                                       | <u>f 466.000</u> |
|                                                                                              | f 10.040.000     |



## 8. EVALUATIE

### Leemtes in het onderzoek

Het doel van het onderzoek was om een inventarisatie te maken van velerlei aspecten van NKFC's. Hierdoor kon niet diep op de verschillende aspecten ingegaan worden. Gepresenteerde cijfers omtrent hoeveelheden en samenstellingen NKFC's, recyclingkosten en -baten berusten daarom voor een deel op zo goed mogelijk uitgevoerde schattingen. Hetzelfde geldt voor de benadering van de "toekomstige ontwikkelingen", hetgeen als een eerste inventarisatie moet worden beschouwd. De voorgestelde verwerkingsprocessen, inclusief economische randvoorwaarden, zijn eerste theoretische benaderingen. Praktisch onderzoek zal nodig zijn om de opgezette processen op haalbaarheid te verifiëren. Het gepresenteerde cijfermateriaal zou door middel van vervolgstudies aangevuld kunnen worden.

### Overheidsbeleid

De Nationale Overheid heeft duidelijk gekozen voor een minimalisatie van de te storten afvalhoeveelheden. De nadruk zal sterk gelegd worden op hergebruik enerzijds en volumereductie door toepassing van vernietigingstechnieken anderzijds. Bovendien zal gestreefd worden naar het zoveel mogelijk vermijden van milieubelastende, toxische afvallen, dus stofstromen met het predikaat "chemisch afval".

De doelstelling is, vergeleken met nu, de afvalstroom in 2000 met minimaal 5% verminderd te zien. Daarnaast moet het hergebruik toenemen van 35 naar 60% en het verbranden van afval van 10 naar 25%. Het storten van afval moet in de komende 10 jaar terug van 55 naar 10%.

Het streven naar reductie van de hoeveelheden wordt in principe aangemoedigd door een sterke stijging in de tarieven van storten en verbranden. Het hierboven gestelde houdt in principe in dat de voorkeur gegeven wordt aan die verwerkingstechnieken (c.q. processen), die naast het gericht zijn op hergebruik, een sterke afvalreductie geven.

### Groeiende hoeveelheden

Wasmachines, koelkasten, telefoons, televisies, audio-apparatuur, computers en randapparatuur enzovoort vormen momenteel een relatief klein deel van de afvalberg. Dit deel zal echter snel in omvang toenemen.

Deze groei heeft onder andere te maken met een inhaaleffect. Er is sprake van grote hoeveelheden, in het verleden aangeschafte, maar nog in gebruik zijnde en dus nog af te danken apparaten. Illustratief voor dit inhaaleffect zijn de home- en personal computers. Momenteel komen er hiervan jaarlijks maximaal zo'n 50.000 in het afval terecht. Door de koopwoede van de laatste paar jaar zal deze hoeveelheid in het begin van de jaren negentig oplopen tot 100.000 à 200.000 stuks. Door de verwachte groei van de verkoopcijfers in de komende jaren, zal de hoeveelheid afgedankte apparaten in de tweede helft van de jaren negentig nog verder toenemen.

Een ander verschijnsel dat de aanzwellende stroom afgedankte apparaten veroorzaakt, is dat de periode van aanschaf tot afdanking voor een aantal apparaten terugloopt. De consument lijkt steeds vaker nog werkende of eenvoudig te repareren apparaten bij de vuilnisbak te zetten. Men is op het oude apparaat uitgekeken of men vindt het, rekening houdend met de vaak verbeterde prijs-prestatieverhouding van nieuwe apparaten, niet de moeite om nog kosten voor reparatie te maken.

### Toxische stoffen

Het leeuwedeel van de afgedankte apparaten komt bij de afvalverbranding of de stort terecht. Omdat veel apparaten potentieel toxische stoffen bevatten, is dat bezwaarlijk. Analyses hebben uitgewezen dat een aantal apparaten in principe onder de Wet Chemische Afvalstoffen (W.C.A.) zou behoren te vallen, omdat voor een aantal elementen het maximaal toegestane gehalte wordt overschreden. Dit geldt met name voor lood, antimoon en cadmium. De W.C.A. sluit producten echter uit. Het merkwaardige feit doet zich hierdoor voor dat apparaten onder het regime van de Afvalstoffenwet mogen worden afgevoerd, maar dat afgescheiden fracties uit een recyclinginstallatie wel onder de W.C.A. kunnen vallen.

### Kleine apparaten

Het zijn vooral de kleine apparaten met een relatief lage materiaalwaarde die momenteel geen hergebruiksbestemming krijgen. Toch bevatten bijvoorbeeld micro-computers en televisies een aantal waardevolle materialen, zoals goud, zilver en palladium, waarvan de herwinning uit economisch en politiek-strategisch oogpunt van belang kan zijn. De herwinning van andere toegepaste materialen, zoals koper, lood, tin en bepaalde kunststoffen, zou ook voor het milieu zinvol zijn.

Het probleem met de kleine apparaten is om de voor een rendabele recycling vereiste hoeveelheid bij elkaar te krijgen. Veel produkten zijn niet grijpbaar, omdat ze bij veel (verschillende) bronnen vrijkomen en vermengd met bedrijfsafval of huishoudelijk afval worden ingezameld.

Zelfs bij gemeenten die grofvuil gescheiden inzamelen, is scheiding van de bij dit grofvuil aangeboden apparaten vaak niet mogelijk, omdat zij de apparaten in een kraakperswagen afvoeren. Schroothandelaren hebben meestal evenmin interesse om kleine apparaten uit het grofvuil te halen. Zij vinden de waarde per apparaat te gering.

Zodra het gaat om grote hoeveelheden apparaten, zijn er meer kansen voor recycling. De P.T.T. herwint bijvoorbeeld materialen uit de teruggekomen huurtelefoons. Dit is vooral rendabel omdat dit bedrijf bij de opbrengsten van de materialen de vermeden afvalverwerkingskosten kan optellen. Als men niet aan recycling zou doen, zou men immers hoge kosten moeten maken om de telefoons als afval af te voeren. Nu steeds vaker de telefoongebruiker eigenaar is van het toestel, zullen afgedankte toestellen voortaan in de vuilnisbak verdwijnen en verloren gaan voor hergebruik.

### Inzamel- en verwerkingsstructuur

Indien meerdere afgedankte gebruiksgoederen (onder andere koelkasten, wasmachines, kopieerapparaten) procesmatig apart ingezameld en verwerkt gaan worden, kan de voorbereiding hiervan eventueel decentraal in Nederland plaats vinden. Bij een meer decentraal gerichte aanpak kan op transportkosten bespaard worden.



De zwakke schakel in het geheel blijft de ontbrekende, op afgedankte apparaten gerichte, inzamelstructuur. Het op één locatie bij elkaar krijgen van een voldoende grote hoeveelheid te ontmantelen apparatuur is momenteel nog problematisch. Een geschikte infrastructuur, gekoppeld aan een stelsel stimulerende maatregelen, zal er voor dienen te zorgen, dat de bewuste apparatuur bij een daarvoor ingerichte recyclingsinstallatie terecht komt. Een mogelijkheid is de invoering van statiegeld.

Het idee van een statiegeldregeling is dat de consument bij aankoop van een apparaat een bedrag extra betaalt, dat hij terugkrijgt op het moment dat hij het als afval inlevert. Mits de vergoeding hoog genoeg is, zullen veel mensen waarschijnlijk bereid zijn om hun afgedankte apparaten te brengen bij daarvoor aangewezen locaties. De verzameling van veel apparaten is op deze wijze betrekkelijk eenvoudig. Een ander voordeel van een dergelijk systeem is dat het de bewustwording van de afvalproblematiek bij de consument bevordert.

Indien de apparaten teruggenomen worden op enkele plaatsen kunnen de vermeden afvalverwerkingskosten bij de materiaalopbrengsten geteld worden. Recycling als verwerkingsoptie wint daardoor aan aantrekkelijkheid. Een nadeel van een statiegeldsysteem is dat het pas op langere termijn effectief wordt. Voor alle produkten die momenteel in omloop zijn en waarop dus geen statiegeld rust, is het geen oplossing. De inzameling van deze produkten zou vrijwillig of met een haalsysteem of tegen een geringe retourpremie kunnen geschieden.

#### Recyclingsystemen

Er kan gesteld worden dat de ontmanteling van complexe NFKC's (afscheiden van materialen, elementen) opgebouwd kan worden gezien uit een drietal fasen, zoals hierna getoond.



—————→ Verloop ontmantelingsproces.

| 1e fase                                                                                                                                          | 2e fase                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3e fase                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Afgescheiden grotere delen                                                                                                                       | Verwerken grote delen                                                                                                                                                                                                                                                   | Verwerken specifieke fracties                                                                                                                                                                                       |
| Audio-/video-apparatuur en personal computers                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                     |
| Beeldbuizen<br>Omkastingen<br>Elektronikafractie                                                                                                 | Restant na verwijderen<br>beeldbuizen, omkastingen en<br>elektronikafractie                                                                                                                                                                                             | Elektronikafractie<br>bijvoorbeeld printplaten                                                                                                                                                                      |
| door middel van                                                                                                                                  | door middel van                                                                                                                                                                                                                                                         | door middel van                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>. selectief slopen, handmatig of deels geautomatiseerd (in de toekomst mogelijk gerobotiseerd)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. verkleiningstechnieken</li> <li>. magneetscheiding</li> <li>. droogmechanische technieken, zoals zeven, ziften en triltafeltechnieken en/of</li> <li>. drijf-zink-scheiding en/of</li> <li>. eddy current-scheiding</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>. verkleiningstechnieken</li> <li>. mogelijkerwijs pyrolyse of</li> <li>. droogmechanische technieken</li> <li>. oplossen</li> <li>. hydrometallurgische methoden</li> </ul> |

### Marktverwachtingen

Vanwege nieuwe toepassingen van geavanceerde materialen en materialen-substitutie is er voortdurend sprake van groeiende en krimpende afzetmarkten van herwonnen materialen. Non-ferro's die onder druk staan, zijn bijvoorbeeld lood (vanwege introductie loodvrije benzine, lichtere accu's etc.) en koper (vanwege miniaturisering in de elektronika, substitutie door glasvezel etc.). Enerzijds zal zich dat vertalen in de prijs en anderzijds zal mogelijkerwijs de vraag zich gaan concentreren op de betere soorten.

Daar staat echter tegenover dat indien het welvaartsniveau op mondiale schaal toeneemt, een grote vraag naar produkten c.q. materialen zal ontstaan (opkomende landen zijn bijvoorbeeld Brazilië en India). Hiervan afgeleid zal een reële vraag naar secundaire grondstoffen, onder andere non-ferro's, blijven bestaan.

## 9. AANBEVELINGEN

### Recyclingsbewust ontwerpen

In de ontwerpfase van apparaten zouden fabrikanten veel meer rekening kunnen houden de latere recyclingmogelijkheden. Sommige materialen zou men niet moeten toepassen, omdat ze voor de recyclingbranche extra hoge kosten met zich meebrengen en/of omdat ze tijdens het recyclingproces of bij de afvalverwerking milieuproblemen veroorzaken.

Zo zouden bijvoorbeeld chloorbevattende kunststoffen, zoals polyvinylchloride (PVC) en bepaalde additieven in de kunststoffen (zware metalen en broomverbindingen) zoveel mogelijk gesubstitueerd moeten worden. Voor deze stoffen zijn alternatieven voorhanden. Uit het oogpunt van recycling is het aan te bevelen gebruik te maken van eenvoudig op te heffen verbindingen en constructiewijzen.

Een modulematige opbouw van apparaten is bovendien aan te bevelen.

Het gebruik van bepaalde coatings kan voor recycling eveneens een belemmerende factor zijn. Als alternatief voor bijvoorbeeld "conductive paints", die soms als bescherming tegen elektromagnetische straling zijn aangebracht op de omkastingen van elektronische apparaten, zou men wellicht kunnen denken aan de constructie van een metalen boxje om de stralingsgevoelige onderdelen.

### Etikettering

Door de toegepaste materialen in apparaten beter herkenbaar te maken, kan de recyclingsbranche sneller beoordelen of een produkt rendabel is voor herverwerking of niet. Ook voor de kunststofcomponent kan zo'n etiketteringssysteem van belang zijn, vanwege de betere scheidingsmogelijkheden. Scheiding van verschillende soorten kunststoffen is noodzakelijk, omdat nu nog alleen homogene kunststoffen in aanmerking komen voor herverwerking. Het is echter erg moeilijk om de verschillende soorten kunststoffen te determineren. De wettelijke basis voor zo'n etiketteringssysteem zal waarschijnlijk komen in het hoofdstuk "Afvalstoffen" in de Wet Algemene bepalingen milieuhygiëne (WAbm). Dit wetsvoorstel is momenteel in behandeling bij de Raad van State.

De wijze waarop fabrikanten de materialen in de produkten herkenbaar moeten maken, dient in nauw overleg met de recyclingbranche te geschieden. Het aanbrengen van bijvoorbeeld stickers of metalen plaatjes op de kunststofomkasting van apparaten, zou het herverwerken van die omkastingen kunnen belemmeren.

#### Inzamel- en verwerkingsstructuur

De verbetering van inzamel- en verwerkingsstructuren vereist een organisatorische benadering vanuit de technologische mogelijkheden. Onderzoek zal dienen aan te tonen hoe vanuit deze optiek de "infrastructurele" kosten (inzamel-, opslag-, overslag- en transportkosten) en verwerkingskosten geminimaliseerd kunnen worden.

Ten behoeve van produkten, waarop geen statiegeld of inleverpremie komt te rusten, zou de inzameling via een haalmethode meer op recycling moeten worden gericht. Het verdient aanbeveling om zich daarbij in eerste instantie te concentreren op grote NFKC's in het grofvuil en kantoor-, winkel- en dienstenafval (dit sluit aan bij de hergebruiksdoelstellingen van de overheid). Een beter op recycling gerichte grofvuilinzameling houdt bijvoorbeeld in dat op de gemeentelijke inzamelwagen speciale voorzieningen worden getroffen of dat een recuperant bij de inzameling wordt betrokken.

Met als doel besparing op transportkosten zou nader onderzocht kunnen worden of de (voor)bewerking decentraal zou moeten plaatsvinden. Dit zal eerder haalbaar worden als meerdere apparaten op dezelfde locatie in een systeem verwerkt kunnen worden; de eventuele opzet van regionale inzameldepots en verwerkingsprocessen.

De ontwikkeling en opzet van parallel werkende "low cost"-ontmantelings- en scheidingstechnieken past in het verlengde hiervan. In eerste instantie zal daarbij handmatige sloop onontbeerlijk zijn. Deze procesmatige stap is echter aan steeds verdergaande automatisering onderhevig.



De behoefte aan de ontwikkeling c.q. inzet van nieuwe (geavanceerde) technieken, om de hoeveelheid te storten (of te verbranden) afgedankte produkten/onderdelen/materialen verdergaand te minimaliseren, wordt onderkend. Er kan daarbij bijvoorbeeld gedacht worden aan:

- . Uitbreiding bestaande droog- en natmechanische technieken,
- . Inzet elektromagnetische technieken (onder andere "Eddy-current"-wervelstroomscheider),
- . Opbouw gemechaniseerde sloopstraten,
- . Installatie automatische sorteer- en ontmantelingstechnieken (inclusief materiaalherkenning, onder andere door middel van sensoren).

Studie en praktisch onderzoek zal nodig zijn om cijfers omtrent hoeveelheden en samenstellingen van NFKC's, recyclingkosten en -baten te verkrijgen, respectievelijk de ontworpen processen op haalbaarheid te verifiëren.

Het verdient aanbeveling om te onderzoeken of door middel van hydro-metallurgische technieken metalen in Nederland teruggewonnen kunnen worden. Doordat steeds meer elektronika in produkten (bijvoorbeeld de auto) toegepast zal gaan worden, zal in de toekomst de hoeveelheid elektronika-afval sterk stijgen. Indien de intrinsieke waarde van dit afval voldoende hoog blijft, rechtvaardigt dit het onderzoek naar het bestaansrecht van een eigen hierop gebaseerde hydrometallurgische industrie in Nederland.

#### Marktdiversificatie

Omdat het streven is het hergebruik duidelijk te verhogen, zal naar andere mogelijkheden voor afzet van recyclingprodukten gezocht dienen te worden.

De marktgroottes en de opbrengsten van de diverse produkten zijn van grote betekenis voor de ruimte waarbinnen de recycling-initiatieven zich afspelen. Nieuwe toepassingen, andere hergebruiksmogelijkheden geven een recyclingindustrie, door de opzet van flexibele processen, de mogelijkheid om in te spelen op groeiende en krimpende markten.

De overheden zouden stimulerend op kunnen treden door onder andere haar eigen aanschafbeleid meer te richten op secundaire materialen c.q. recyclingprodukten (bijvoorbeeld waterbeschoeiingen van secundaire kunststoffen in plaats van hout, behandeld met milieubelastende impregneermiddelen).