

Ref.nr. : 89-021/C1
Dossiernr. : 8722-19237
Datum : maart 1989
NP

Titel
SCHEIDING EN RECYCLING VAN
NON-FERROMETAAL/KUNSTSTOF-COMBINATIES;
DEELONDERZOEK: KARAKTERISERING EN
RECYCLING-PROCESSEN

Auteur(s):
ir. A. Ansems
E. Esmeyer

m.m.v.
ir. H. Luggenhorst
ir. J. v.d. Steen

Trefwoord(en):
- Non-ferrometalen
- Kunststoffen
- Karakterisering
- Recyclingprocessen
- Scheidingstechnieken
- Economische parameters

In opdracht van:
Ministerie van Economische Zaken;
Directie Proces- en Lichte Industrie

	Pagina
89-021/R.22/C1/IVS	2
INHOUDSOPGAVE	
SAMENVATTING	4
1. INLEIDING	1-1
1.1 Achtergrond	1-1
1.2 Doelstelling	1-3
1.3 Verdeling onderzoek tussen IVAM en TNO	1-4
2. METHODEN VAN ONDERZOEK	2-1
2.1 Algemeen	2-1
2.2 Plan van aanpak	2-1
2.2.1 Inleiding	2-1
2.2.2 Doelstelling	2-2
2.3 Criterialijst voor de selectie van demonstratieprodukten	2-7
3. INFORMATIEBESTAND TECHNIEKEN	3-1
3.1 Inleiding	3-1
3.2 Verkleiningstechnieken	3-2
3.3 Droogmechanische technieken	3-3
3.4 Natmechanische technieken	3-4
3.5 (Elektro)magnetische en elektrostatistische technieken	3-6
3.6 Geavanceerde en overige fysische technieken	3-7
3.7 Thermische technieken	3-8
3.8 Chemische en fysisch-chemische technieken	3-10
4. INFORMATIEBESTAND ECONOMISCHE PARAMETERS	4-1
4.1 Inleiding	4-1
4.2 Prijzen materialen	4-3
4.3 Vermeden afvalverwerkingskosten	4-5
4.4 Kosten verwerking procesresiduen	4-7
4.5 Economische ruimte verwerkingsprocessen	4-7
5. AUDIO-/VIDEO-APPARATUUR EN PERSONAL COMPUTERS	5-1
5.1 Inleiding	5-1
5.2 Argumentatie van de keuze	5-2
5.3 Karakterisering afgedankte apparatenstroom	5-2

	Pagina
89-021/R.22/C1/IVS	3
5.4 Splitsing afgedankte apparatenstroom in deelstromen	5-12
5.5 Verwerkingsalternatieven	5-12
5.6 Opzet verwerkingsprocessen	5-18
5.6.1 Te verwerken afvalstroom	5-18
5.6.2 Het centrale verwerkingsproces	5-19
5.6.3 Verwerking omkastingen	5-24
5.6.4 Verwerking beeldbuizen	5-24
5.6.5 Verwerking printplatenfractie	5-26
5.7 Economische berekeningen	5-29
5.7.1 Inleiding	5-29
5.7.2 Centrale verwerkingsproces	5-30
5.7.3 Verwerking beeldbuizen	5-33
5.7.4 Verwerken printplatenfractie	5-34
5.7.5 Opbrengsten en kosten afgescheiden fracties	5-35
5.7.6 Economische ruimte	5-37
6. EVALUATIE	6-1
7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	7-1
7.1 Conclusies	7-1
7.2 Aanbevelingen	7-7
8. LITERATUUR	8-1
9. VERANTWOORDING	9-1
BIJLAGE I : Verkleiningstechnieken	
II : Droogmechanische technieken	
III : Natmechanische technieken	
IV : (Elektro)magnetische en elektrostatistische technieken	
V : Geavanceerde en overige fysische technieken	
VI : Thermische technieken	
VII : Chemische en fysisch-chemische technieken	
VIII : Gehalte aan onderdelen/materialen van diverse apparaten, gegeven in literatuurbron [3]	
IX : Gehalte aan onderdelen/materialen in kleurentelevisies	
X : Gehalte aan onderdelen/materialen in personal computers en videorecorders	

89-021/R.22/C1/IVS

4

- XI : Gehalte aan onderdelen/materialen in audio-apparatuur
- XII : Toegepaste materialen in een aantal elektronica-
componenten
- XIII : Neutronenactiveringsanalyse
- XIV : Analyses van printplaatfracties
- XV : Analyses met nat-chemische technieken

Meer exemplaren zijn verkrijgbaar door overmaking van f 70,00 op post-girorekening 416269, ten name van MT-TNO Apeldoorn, onder vermelding van referentienummer 89-021.

SAMENVATTING

In veel produkten zijn non-ferrometalen en kunststoffen verwerkt. In dit rapport wordt gesproken van een non-ferrometaal/kunststofcombinatie (NFKC), wanneer beide stoffen tegelijkertijd in één produkt (één afvalstroom) voorkomen. De stoffen kunnen met elkaar geïntegreerd of naast elkaar voorkomen, in kleinere of grotere delen.

Het wordt steeds gecompliceerder om de non-ferro's, c.q. hoogwaardige kunststoffen in voldoende kwaliteit af te scheiden, doordat beide materialen:

- in het afvalstadium steeds meer in heterogene mengsels voorkomen;
- in lagere concentraties vrijkomen;
- ten dele in, of als nieuwe materialen toegepast worden.

De noodzaak tot hergebruik wordt echter groter, doordat alternatieve verwerkingsmethoden, zoals verbranden, steeds duurder, of, zoals storten vanwege afnemende stortcapaciteit, moeilijker toegepast kunnen worden. Hergebruik is dus vanwege twee hoofdredenen interessant:

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 de afvalstoffenproblematiek verkleind.

Teneinde na te gaan in hoeverre recycling van afval van NFKC's mogelijk is, is in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken (EZ) het onderzoek "Recycling non-ferrometaal/kunststofcombinaties" uitgevoerd. Dit onderzoek is opgezet als proefproject waarop een mogelijk door EZ op te starten "Innovatiegericht Onderzoekprogramma (IOP)-Recycling" gebaseerd gaat worden.

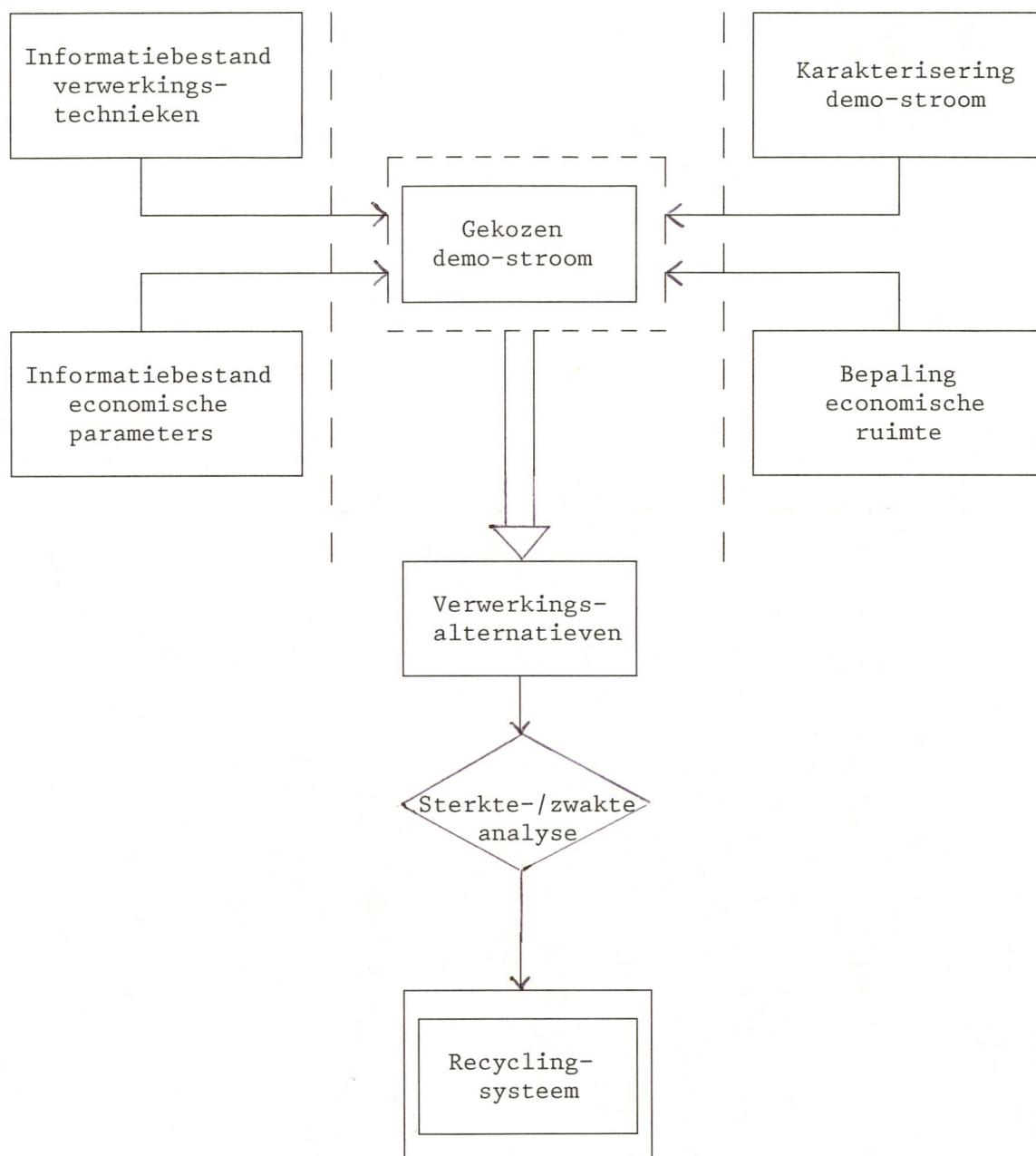
De doelstelling van het TNO-onderzoek is:

Selectie van produktstromen met een relatief groot aandeel NFKC's en vervolgens karakterisering ervan, hetgeen moet leiden tot aanbevelingen voor mogelijk toe te passen ontmantelings- en scheidingstechnieken voor

de verwerking van NFKC's-bevattende produktstromen. Daarbij gelden bedrijfseconomische en milieuhygiënische randvoorwaarden.

Bij de opzet van recyclingsystemen met (intelligente) ontmantelings- en scheidingstechnieken zijn de NFKC's-bevattende produktstromen audio-/video-apparatuur en personal computers gekozen.

Daarbij is de hierna geïllustreerde systematiek gevolgd.



De opzet van informatiebestanden is nodig om een keuze te kunnen maken uit een groot scala aan technieken voor de opzet van verwerkingssystemen, respectievelijk om de economische haalbaarheid te kunnen bepalen voor eventueel in te zetten recyclingsystemen.

Nadat de gekozen afvalstromen gekarakteriseerd zijn (bepaling van de samenstelling naar onderdelen/materialen/elementen en verbindingsvor-

men), worden, aan de hand van de bepaalde economische ruimte, verwerkingsalternatieven opgezet. Op basis van een sterkte-/zwakte-analyse wordt een uiteindelijke keuze gemaakt.

De afvalstroom "audio-/video-apparatuur en personal computers" bestaat uit een relatief groot aantal non-ferro's en kunststoffen, met daarnaast andere materialen, zoals ferro, glas en hout.

De economische drijfveer om deze afvalstroom te verwerken wordt bepaald door het voorkomen van "bulk-non-ferro's" (koper, aluminium, enz.), hoogwaardige non-ferro's (goud, zilver, palladium, enz.) en enkele hoogwaardige kunststoffen (slagvast polystyreen, acrylonitrilbutadienstyreen, enz.). De milieuhygiënische drijfveer bestaat hieruit dat door hergebruik een potentieel chemisch afvalprobleem sterk gereduceerd kan worden. (De desbetreffende afvalstroom bevat relatief hoge gehalten lood, cadmium, antimoon, broom, etc.)

Het voorgestelde systeem bestaat uit 3 processen:

- . Voorbewerking (onder andere afscheiden grotere onderdelen).
- . Beeldbuizenverwerking.
- . Printplatenverwerking (of ruimer gezien elektronikaverwerking).

Economische berekeningen tonen aan, dat indien de vermeden afvalverwerkingskosten meegewogen worden, het opgezette voorbewerkingsproces, inclusief relatief veel personele inzet, niet bij voorbaat economisch onhaalbaar hoeft te zijn. Indien vermeden milieukosten meegewogen worden, zullen de aparte beeldbuizen- en printplatenverwerking, na voldoende technisch onderzoek en ontwikkeling, eerder haalbaar worden. Een gegarandeerd hergebruik/nuttige toepassing van de afgescheiden materialen brengt het, op maatschappelijk-economische gronden gebaseerde, bestaansrecht van de voorgestelde processen dichterbij.

De zwakke schakel in het geheel is de ontbrekende infrastructuur van inzameling, opslag, overslag en transport naar één (of enkele) centrale locatie(s). Een technische verwerking komt dan slechts van de grond als de benodigde inzamelstructuur gerealiseerd is.

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

In veel produkten zijn non-ferro metalen en kunststoffen verwerkt. In dit onderzoek wordt gesproken van een non-ferro metaal/kunststof-combinatie (NFKC), wanneer beide stoffen tegelijkertijd in één produkt voorkomen. De stoffen kunnen met elkaar geïntegreerd of naast elkaar voorkomen, in kleinere of grotere delen.

De produkten waarin NFKC's worden toegepast, verschillen in levensduur. Sommige komen direct bij de consumptie vrij (de schroefdrop), andere pas na vele jaren (de auto). De dynamiek van het materialengebruik is terug te vinden, hoewel voor sommige met een na-ijlend effect, in de samenstelling van het aangeboden afval.

Verschillende overheids- en particuliere organisaties houden zich bezig met de inzameling en verwerking van onder andere deze produkten. Bepaalde goed herkenbare niet-verontreinigende delen met een hoge waarde vinden vaak een weg naar de hergebruik- of recuperatiebedrijven. Een groot deel wordt echter niet hergebruikt of op geëigende wijze verwerkt. Oorzaken hiervoor zijn: Verkeerde afgifte, vermenging met andere afgedankte produkten, onherkenbaarheid, te kleine hoeveelheden, de afwezigheid van een inzamelorganisatie, het ontbreken van de juiste technieken of het (tijdelijk) gemis van afzetmogelijkheden.

In beide materiaalklassen hebben zich de laatste jaren belangrijke ontwikkelingen voorgedaan. Nieuwe (combinaties van) materialen zijn ontdekt die nieuwe eigenschappen en toepassingsmogelijkheden hebben. Voor produkten waarin combinaties van non-ferro metalen en kunststoffen voorkomen, kan dit tot gevolg hebben dat de onderlinge verhouding wijzigt of dat de samenstelling van één of van beide van de materiaalsoort(en) verandert. Ook kunnen stoffen als hout, metalen en (enkel) kunststof, in bepaalde produkten vervangen gaan worden door deze nieuwe materialen. Ofschoon er een tendens is waar te nemen van een toenemende complexiteit van materialen in produkten, zijn er ook ontwikkelingen in de richting van vereenvoudiging van onderdelen en constructies.

Ook kan het gebruik van nieuwe (combinaties van) materialen leiden tot een verhoging van de efficiency van de produktie en daardoor tot een vermindering van het materiaalgebruik. Anderzijds neemt de kans op het ontstaan van afvalproblemen toe, doordat ingewikkelde combinaties de verwerking en het opwerken voor hergebruik bemoeilijken.

Het is niet duidelijk op welke wijze men zal reageren op deze mogelijke ontwikkelingen. Zal men trachten het afval in het milieu te beperken door achteraf technische maatregelen te treffen of zal men ernaar streven bij het produktontwerp reeds rekening te houden met hergebruiksmogelijkheden in het afvalstadium? Hoe het ook zij, veranderingen in de markt, in de samenstelling van het afval en de toe te passen technologieën, dwingen tot een verkenning van oplossingsrichtingen voor huidige en toekomstige problemen. Deze oplossingen moeten gericht zijn op uitbreiding en/of verbetering van de verwerking van produkten waarin non-ferro metalen en kunststoffen verwerkt zijn.

Juist doordat metalen en kunststoffen steeds meer in heterogene mengsels, soms in lagere concentraties, vrijkomen en daarnaast ten dele toegepast worden in, of als nieuwe geavanceerde materialen, wordt het steeds gecompliceerder om de non-ferro's, c.q. hoogwaardige kunststoffen in voldoende kwaliteit af te scheiden.

De noodzaak tot hergebruik wordt echter groter, doordat alternatieve verwerkingsmethoden, zoals verbranden, steeds duurder, of, zoals storten vanwege afnemende stortcapaciteit, moeilijker toegepast kunnen worden. Hergebruik is dus vanwege de volgende twee hoofdredenen interessant:

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 de afvalstoffenproblematiek verkleind.

Tegen deze achtergrond is het onderzoek "Recycling non-ferro metalen/kunststoffen" gestart, teneinde na te gaan in hoeverre recycling van afval van NFKC's mogelijk is. Als onderdeel van deze studie werkt de groep "Datacollecting" aan een inventarisatie en karakterisering van

NFKC's. De groep Datacollecting bestaat uit medewerkers van de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO en de Interfacultaire Vakgroep Milieukunde van de Universiteit van Amsterdam (IVAM) (zie ook 1.3). In het werk van IVAM wordt aandacht geschonken aan de inventarisatie van NFKC's en de organisatorische en logistieke aspecten van hergebruik van NFKC-bevattende afvalstromen. Deze resultaten zullen in een ander rapport worden gepresenteerd.

In dit rapport worden de resultaten van het onderzoek van TNO beschreven. Het TNO-deelonderzoek heeft zich gericht op de inventarisatie van potentiële verwerkingstechnieken van NFKC's en de karakterisering van deze afvallen, met name audio-/video-apparatuur en personal computers, zie verder 2.1.

1.2 Doelstelling

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 bedrijfs-economische en milieuhygiënische randvoorwaarden.

Toelichting

De karakterisering houdt in: Het bepalen van samenstellingen naar materialen/materialencombinaties/onderdelen/onderdelengroepen en het vastleggen van de verschillende toegepaste verbindingvormen, c.q. -technieken.

De samenstelling van de beschouwde afvallen zal mede bepalen welke materialen of materialencombinaties voor verdere verwerking in aanmerking komen. Niet alleen de hoeveelheid afvallen, maar ook de gehalten van specifieke materialen/elementen bepalen de schaalgrootte van eventueel toe te passen verwerkingsinstallaties. Uiteraard speelt naast de hoeveelheid ook de schaarste, de prijs van een specifieke stof/specifiek

materiaal een rol. De mogelijkheid bestaat dat het vanwege strategisch-economische redenen interessant is bepaalde, in lage concentratie aanwezig zijnde metalen terug te winnen.

Naast de economische drijfveren (opbrengsten van de afgescheiden materialen) gaan steeds meer milieukosten een rol spelen. De kosten van alternatieve verwerkingswijzen, zoals storten en verbranden, nemen nog steeds toe. De opbrengsten van de afgescheiden materialen, te zamen met de negatieve waarde van de afgedankte produkten, bepalen mede de ruimte, waarbinnen de verwerkingskosten dienen te vallen. Er zal getracht worden aan te geven hoe groot deze ruimte in globale zin is en in hoeverre er plaats is voor geavanceerde verwerkings- en scheidingstechnieken.

1.3 Verdeling onderzoek tussen IVAM en TNO

In onderling overleg tussen IVAM en TNO is de onderstaande verdere verdeling van het onderzoek afgesproken.

IVAM

In het onderzoek van de IVAM zal aandacht geschonken worden aan:

1. Het voorkomen van NFKC's (hoeveelheden en samenstellingen) in de verschillende produktstromen. Ook zullen mogelijke trends voor de (nabije) toekomst dienen te worden onderzocht.
2. De voornaamste NFKC-bronnen en -sectoren (zie ook punt 1).
3. De methoden van inzameling; de logistiek en de organisatie van de inzameling van NFKC's. Eén en ander voor zover deze momenteel in gebruik zijn en in de toekomst zullen (kunnen) worden toegepast.
4. De mogelijkheden van scheiden (in plaats van vermenging) aan de bron.
5. De bestemmingen van NFKC's.
6. De eventuele toekomstige bestemmingen van NFKC's, zoals mogelijkerwijs "remanufacturing" en opwaardering van afgedankte produkten.
7. De eventuele toekomstige opties van recyclingbewust ontwerpen.
8. De selectiecriteria om tot een goede afbakening van de demonstratieprodukten (afvallen) te komen.
9. De logistieke kosten.

TNO

In het werk van TNO zal aandacht worden geschonken aan:

1. Het vinden van geschikte scheidingstechnieken (na karakterisering van geselecteerde NFKC's); met deze technieken, dit kunnen zowel reeds bestaande als nieuwe zijn, dienen op de daarvoor vereiste schaal-grootte de produktstromen (afvalstromen) te worden behandeld.
2. Het berekenen van de kosten verbonden aan de verwerking van de NFKC-afvalstromen. Bij de bepaling van deze kosten dient de opbrengst van de, na verwerking, verkregen materialen te worden verrekend. Bovendien zal rekening gehouden worden met de vermeden afvalverwer-kingskosten (kosten die opgebracht zullen moeten worden om de afval-len te kunnen laten verwerken, als niet voor een recyclingroute geko-zen wordt.
3. Het nagaan van trends in de verwerkingstechnieken; het concentreren en winnen van materialen/stoffen, enerzijds uit economische en ander-zijds uit milieuhygiënische overwegingen.
4. De selectiecriteria om tot een goede afbakening van de keuze voor de demonstratieprodukten (afvallen) te komen.

2. METHODE VAN ONDERZOEK

2.1 Algemeen

Het onderzoek van TNO heeft zich vooral geconcentreerd op de inventarisatie van verwerkingstechnieken en economische randvoorwaarden.

Daarnaast zijn hergebruiksprocessen (alternatieven) opgezet voor de verwerking van audio-video-apparatuur, personal computers en mengsels printplaten.

Ten behoeve van de informatiebestanden van potentiële verwerkingstechnieken (hoofdstuk 3) en economische parameters (hoofdstuk 4) heeft een eerste literatuurrecherche en -uitwerking plaatsgevonden.

Op basis van opgebouwde know how, literatuuronderzoek en gesprekken met deskundigen zijn in hoofdstuk 5 verwerkingsschema's (verwerkingsalternatieven) van audio-/video-apparatuur, personal computers en mengsels printplaten gegeven. Verder wordt daarbij aandacht besteed aan de economische ruimte voor de opzet ervan.

Tenslotte volgen in hoofdstuk 6 en 7 respectievelijk "Evaluatie" en "Conclusies en Aanbevelingen".

2.2 Plan van aanpak

Ten behoeve van de uitvoering van het onderzoek heeft TNO een plan van aanpak opgesteld.

Hieronder is een verkorte versie ervan beschreven.

2.2.1 Inleiding

Uit diverse signalen uit het veld is gebleken dat de huidige verwerkingsprocessen niet meer volledig voldoen en dat er behoefte is aan alternatieve verwerkingswijzen. De huidige verwerking van complexe afvalstromen geeft relatief gezien te grote residustromen en/of stromen met een chemisch-afvalkarakter. De afgescheiden producten zijn soms nog te veel verontreinigd.

De volgende vragen zijn belangrijk bij het maken van alternatieve technologiekeuzes:

- . Wat zijn de eigenschappen van de te verwerken afvalstromen (met name kwantiteit en kwaliteit)?
- . Wat zijn de opbrengsten van de eventueel afgescheiden materialen?
- . Wat zijn de verwerkingskosten van de eventueel ontstane residuen?
- . Wat zijn de kosten, indien niet voor recycling-opties gekozen wordt?

2.2.2 Doelstelling

- a. Het inventariseren van de beschikbare verwerkingstechnieken als functie van de concentratie van diverse metalen en als functie van de verwerkingskosten.
- b. Het inventariseren van de potentiële opbrengsten van metalen en kunststoffen en de verwerkingstarieven, indien niet voor hergebruik gekozen wordt.
- c. Het opzetten van recyclingprocessen, inclusief het aangeven van de technisch-economische aspecten, van demonstratie-afvalstoffenstromen, die een belangrijk aandeel NFKC's bevatten.

Uitwerking

De uitwerking van het onderzoek sluit aan bij de hiervoor aangegeven drie punten.

Ad a

De beschikbare technieken zou men in een aantal groepen weer kunnen geven:

1. Droog mechanische technieken, bijvoorbeeld:
 - . zeven
 - . luchtclassificatie
 - . luchtzeven
 - . triltechnieken
 - etc.

2. Nat mechanische technieken, bijvoorbeeld:

- . flotatie
- . drijf-zink technieken
- . magnetische vloeistoffen
- . hydrocyclonen
- etc.

3. Elektromagnetische technieken, bijvoorbeeld:

- . Eddy-current
- . HGMS
- . Ferro-magnetische technieken
- etc.

4. Geavanceerde en overige fysische technieken, bijvoorbeeld:

- . optische technieken
- . metaaldetectoren/sensoren
- . robotica
- . lasers
- etc.

5. Thermische technieken, bijvoorbeeld:

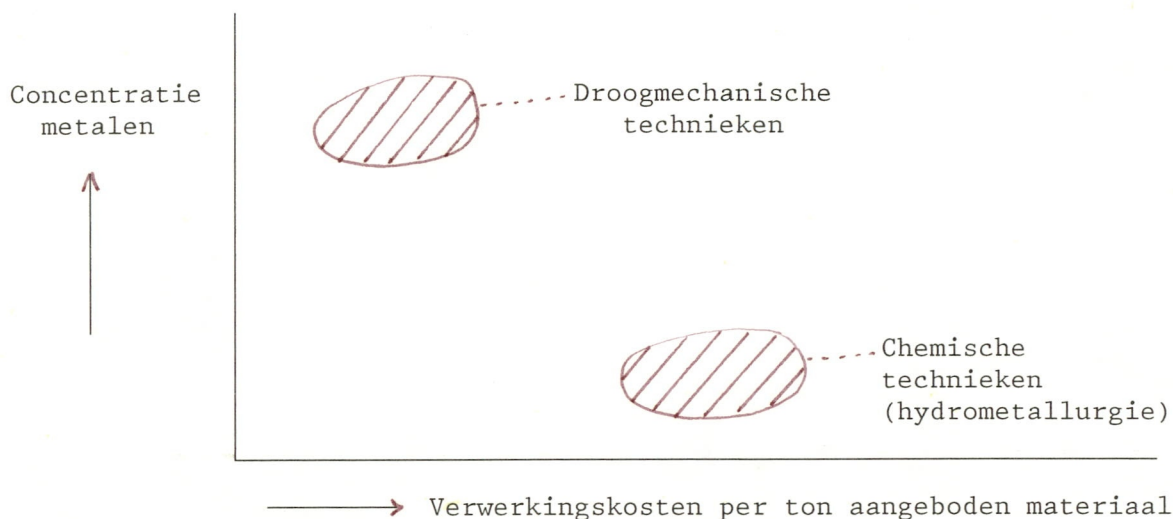
- . pyrolyse
- . vergassen
- . afbranden kunststoffen
- . pyrometallurgie
- etc.

6. Fysisch-chemische en chemische technieken, bijvoorbeeld:

- . elektrochemie
- . ionenwisseling
- . solventextractie
- . precipitatiereacties
- etc.

De potenties, voor- en nadelen, dus sterkte-/zwakte-analyses van de diverse technieken, zullen opgesteld worden. Naast de inventarisatie van de technische mogelijkheden zullen de kostenaspecten van de desbetref-

fende technieken beschouwd worden. De resultaten van de inventarisatie zouden vertaald kunnen worden in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Relatie tussen de concentratie aan metalen in de te verwerken afvallen en de verwerkingskosten

Zie verder hoofdstuk 3.

Ad b

De opbrengsten van de produkten minus de verwerkingskosten van de residuen enerzijds, gesommeerd met de verwerkingskosten van de afvallen indien niet voor recycling gekozen wordt anderzijds, bepalen de economische ruimte voor de eventueel in te zetten recyclingtechnologieën.

De economische ruimte is uiteraard afhankelijk van de hoeveelheid, de aard en de samenstelling van de NFKC's bevattende afvalstromen. Voor recycling komen in eerste instantie die afvalstromen in aanmerking, die aan de volgende criteria in positieve zin voldoen:

- . Het aanwezig zijn van relatief gezien een belangrijke hoeveelheid waardevolle non-ferro's in de desbetreffende afvalstroom.
- . Het aanwezig zijn van voldoende grote hoeveelheden strategische en/of geavanceerde non-ferro's in de desbetreffende afvalstroom (bijvoorbeeld zeldzame aarden en platinagroep-metalen).
- . Het aanwezig zijn van relatief gezien een belangrijke hoeveelheid geavanceerde kunststoffen in de desbetreffende afvalstroom.

. Het aanwezig zijn van belangrijke hoeveelheden metalen (en metalloïden) die, indien niet afgescheiden en afgezet, de desbetreffende afvalstroom tot chemisch afval bestempelen.

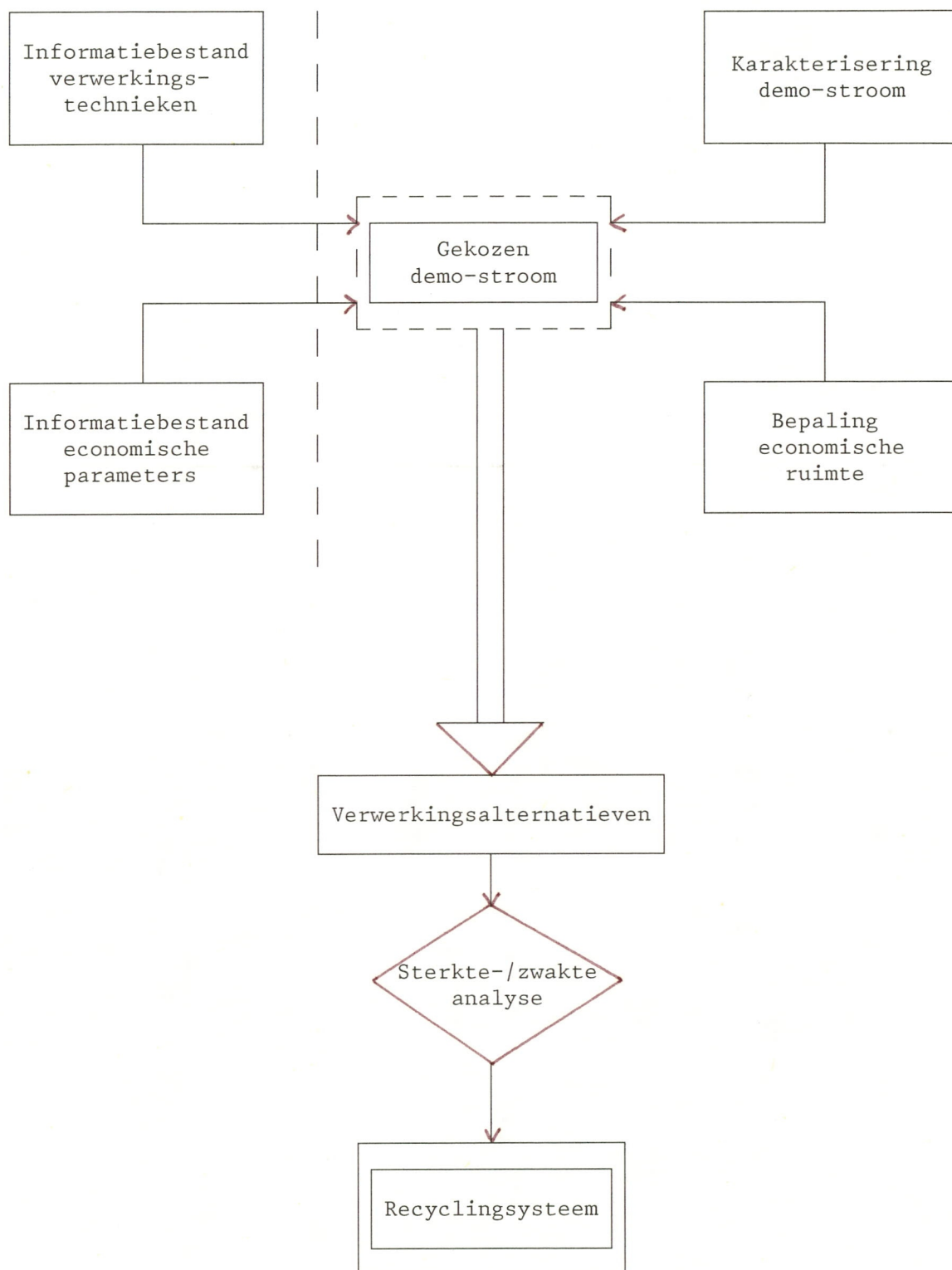
Zie verder hoofdstuk 4.

Ad c

Op basis van door de IVAM uitgevoerde inventarisaties, is in wederzijds overleg gekozen voor twee demo-afvalstromen. Deze keuze geschiedt met behulp van een vooraf opgestelde criterialijst (zie 2.3). Als eerste, respectievelijk tweede demo-afvalstroom zijn afgedankte audio-video-apparaten en personal computers gekozen. Na de keuze vindt er een karakterisering van de desbetreffende apparaten plaats. De karakterisering houdt in: Het bepalen van samenstellingen naar materialen/materialencombinaties/onderdelen/groepen en het vastleggen van de verschillende toegepaste verbindingvormen c.q. -technieken.

Als de karakterisering uitgevoerd is, kan op basis van deze gegevens de economische ruimte voor in te zetten recyclingtechnieken afgeschat worden. Op basis van het dan verkregen totale pakket van gegevens kunnen enkele alternatieven voor verwerkingsroutes opgezet worden. Daarna zal met behulp van een sterkte-/zwakte-analyse een definitieve keus gemaakt worden. De wijze van aanpak is in het hiernavolgende blokschema, fig 2.2, geïllustreerd.

Zie verder hoofdstuk 5.



Figuur 2.2 Keuze van een recyclingsysteem voor een specifieke NFKC-afvalstroom

2.3 Criterialijst voor de selectie van demonstratieprodukten

Voor een keuze van de demo's zijn de volgende criteria opgesteld:

- De demo's moeten momenteel niet op een bevredigende wijze gerecycled worden.
- De te kiezen demo's moeten afkomstig zijn uit verschillende produkt-categorieën, zodat uiteenlopende inzamel- en verwerkingsproblemen aan de orde komen.
- Bij de demo's moeten non-ferro metalen betrokken zijn die uit kwantitatief oogpunt (grote hoeveelheden in het afval, bijvoorbeeld Al) en/of uit kwalitatief oogpunt (waardevolle zeldzame metalen, bijvoorbeeld metalen uit de groep zeldzame aarden en uit de platinagroep) interessant zijn: Economische drijfveer.
- Het moet gaan om demo's die bij de huidige verwerking uit milieu-oogpunt problematisch zijn: Milieuhygiënische drijfveer.
- Afzetkansen voor afgescheiden non-ferro's en eventueel hoogwaardige kunststoffen dienen reëel te zijn.
- De economische ruimte (opbrengsten produkten + vermeden afvalverwerkingskosten - verwerkingskosten residuen) dient zodanig te zijn dat de inzet van scheidingstechnieken perspectieven biedt.

3. INFORMATIEBESTAND TECHNIEKEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden groepen mogelijk toe te passen technieken beschreven. Technieken die qua werking verwantschap vertonen of qua werkingsprincipe (mechanisme al of niet gebaseerd op de fysische en/of chemische eigenschappen van de te verwerken materialen) op elkaar gelijk zijn gegroepeerd. Achtereenvolgens worden de volgende groepen nader toegelicht:

1. Verkleiningstechnieken (zie ook bijlage I).
2. Droogmechanische technieken (zie ook bijlage II).
3. Natmechanische technieken (zie ook bijlage III).
4. (Elektro)magnetische en elektrostatistische technieken (zie ook bijlage IV).
5. Geavanceerde en overige fysische technieken (zie ook bijlage V).
6. Thermische technieken (zie ook bijlage VI).
7. Chemische en fysisch-chemische technieken (zie ook bijlage VII).

In een praktisch verwerkingsproces zal er telkens sprake zijn van een combinatie van technieken om de uiteindelijk gewenste scheidingen te verwezenlijken.

Daarnaast is het vaak nodig om bepaalde hulptechnieken in te schakelen om daarna specifieke scheidingen te bewerkstelligen, bijvoorbeeld:

- . Om bepaalde fracties te kunnen afzeven is een selectieve verkleining vooraf soms noodzakelijk.
- . Om bepaalde metalen te kunnen afscheiden is een ontsluiting vooraf soms noodzakelijk.

De 7 techniekengroepen zijn uitgebreider beschreven in een soort informatiebestand, bijlagen I t/m VII. De gegevens van dit bestand worden mede gebruikt om verwerkingsprocessen op te zetten voor specifieke demo-produkten (demo-afvallen).

Hierna wordt in het kort ingegaan op die techniekengroepen (3.2 t/m 3.8) en zal aandacht besteed worden aan die facetten/technieken, die van belang zijn voor NFKC-scheiding.

3.2 Verkleiningstechnieken

Veelal worden materialenmengsels, afvallen, aangeboden met een te grote spreiding in deeltjesgrootte. Daarnaast kan er sprake zijn van afgedankte goederen, produkten, die uit vele onderling verbonden materialen bestaan. Verkleining heeft dan tot doel:

- a. De deeltjesgrootte-spreiding te verkleinen.
- b. De onderlinge verbindingen te verbreken en de vrijgekomen materialen verder te verkleinen.

Alhoewel de meeste verkleiningen droog geschieden, bestaat er ook apparatuur, waarin suspensies verkleind worden. Een steeds meer toegepaste techniek is het cryogeen vermalen. De brosheid van sommige materialen neemt sterk toe, indien de temperatuur verlaagd wordt tot ca. die van vloeibare stikstof. Een bijkomend voordeel kan dan zijn dat specifieke materialen tot zeer kleine afmetingen verkleind worden, terwijl andere materialen in het mengsel (produkt) minder ver in grootte teruggebracht worden.

Er zijn talrijke praktijkvoorbeelden, waarbij een verkleiningsunit de kern van het verwerkingsproces vormt. Enige daarvan zijn:

- * Bij de verwerking van autowrakken is de hamermolen veelal de eerste eenheid in het proces.
- * Bij de verwerking van elektronika-afvallen kan een hamermolen of een snijmolen toegepast worden.
- * Bij de verwerking van autobanden kan cryogene vermaling de eerste verwerkingsstap zijn.

Een belangrijk nadeel van verkleining, als eerste stap in een verwerkingsroute, kan zijn dat de verkleining niet selectief genoeg is. Daarnaast kan er ongewenste versmearing en/of vermenging van materialen optreden. Deze nadelen kunnen soms opgevangen worden door specifieke materialen (en/of onderdelen) vooraf te verwijderen.

In bijlage I zijn meerdere gegevens over "verkleiningstechnieken" verwerkt.

3.3 Droogmechanische technieken

In deze groep zijn de technieken opgenomen, die gebaseerd zijn op mechanica in droge media.

Tijdens een beweging van het deeltjesmengsel vindt een scheiding plaats op basis van verschil in dichtheid en/of grootte en/of vorm en/of elasticiteit, etc., met andere woorden op basis van specifieke fysische eigenschappen van bepaalde deeltjes van het mengsel.

Met behulp van droogmechanische technieken zal in de praktijk geen definitieve scheiding, maar een concentratie van verschillende fracties worden bewerkstelligd. Deze concentratie vindt plaats nadat vaak eerst, of in combinatie met, een voorbewerking als verkleinen heeft plaatsgevonden.

Afhankelijk van het uitgangsmateriaal en de combinatie van toegepaste technieken komt het nogal eens voor dat bepaalde concentreringen ver doorgevoerd kunnen worden.

Luchtclassificatie, zeven, ballistische scheiding worden als techniek veelvuldig toegepast. Twee opvallende voordelen zijn:

- . Het lage kostenniveau; de kosten van processen, louter bestaande uit droogmechanische technieken, bedragen globaal f 50 - f 100 per ton verwerkt materiaal (afval).
- . Het vermijden van een afvalwaterprobleem.

Een nadeel is dat het nogal eens voorkomt dat de gewenste eindconcentraties voor specifieke elementen niet gehaald worden. De mechanische route wordt dan gekozen als eerste stap in een totaalproces, vanwege het lage kostenniveau.

Alhoewel sommige technieken reeds uitontwikkeld zijn, wordt er nog steeds gezocht naar optimalisatie enerzijds en het combineren van technieken anderzijds. Een voorbeeld van het laatste is de combinatie van ballistische scheiding met dwarsziften (luchtclassificatie).

Enkele praktijkvoorbeelden van droogmechanische processen zijn:

- . De verwerking van autowrakken; de toegepaste technieken zijn ziften (na verkleinen) en magneetscheiding; ferro en vervolgens specifieke non-ferro's (Al en Cu bijvoorbeeld) worden afgescheiden.
- . De verwerking van autobanden; de toegepaste technieken zijn zeven en ziften (na verkleinen); rubber- en metaalfracties worden afgescheiden.
- . Het Bureau of Mines, USA heeft een proces ontwikkeld om elektronisch afval te verwerken; het proces, dat nog in een onderzoeksstadium verkeert, bevat de droogmechanische technieken zeven en ziften [6], [7], [8].

Opmerkelijk is dat afvalstromen, die jaarlijks in grote hoeveelheden vrijkomen, zoals huishoudelijk afval (of fracties daarvan), autowrakken, autobanden, bouw- en sloopafvallen, verwerkt worden in processen die voor een belangrijk deel bestaan uit droogmechanische technieken.

In bijlage II zijn meerdere gegevens over "droogmechanische technieken" verwerkt.

3.4 Natmechanische technieken

In deze groep zijn de technieken opgenomen, die gebaseerd zijn op mechanica in vloeistoffen, over het algemeen water. Tijdens de beweging van specifieke deeltjesmengsels in die media vindt de scheiding plaats. Deze scheiding is gebaseerd op verschillen in specifieke fysische eigenschappen van de deeltjes, zoals dichtheid, grootte, oppervlakte-eigenschappen.

Evenals de in 3.3 besproken droogmechanische technieken zullen deze technieken eerder een concentratie van specifieke fracties dan een definitieve scheiding bewerkstelligen. De technieken worden veelal toegepast na een voorverkleining. Er wordt gekozen voor natmechanische boven droogmechanische technieken, als

- . met droogmechanische technieken de beoogde scheiding in zijn geheel niet bewerkstelligd wordt, of
- . met droogmechanische technieken de gewenste concentrering niet gehaald wordt.

Flotatie, drijf-zink-scheiding, hydrocyclonage, jiggen worden als techniek veelvuldig toegepast. Voordelen zijn:

- . Het relatief lage kostenniveau; de orde grootte van de kosten van processen met natmechanische technieken bedraagt: $f\ 50 - f\ 100$ per ton.
- . De scheiding is specifiek in geval van flotatie.
- . De scheiding geschiedt in relatief simpele apparatuur, in geval van hydrocyclonage.

Een nadeel is veelal het afvalwater- c.q. reststoffenprobleem dat resteert.

De meeste technieken kennen reeds praktijktoepassingen. Daarnaast wordt er enerzijds gestreefd naar optimalisatie en anderzijds gezocht naar combinatiemogelijkheden van verschillende technieken. Een voorbeeld van een combinatie is het magnetohydrodynamisch (MHD) jiggen, waarbij een mengsel van vaste deeltjes, tengevolge van een periodieke elektromagnetische kracht, blootgesteld wordt aan een oscillerende beweging in een elektrolytisch bad. Door de periodieke "jig-beweging" wordt het mengsel van vaste deeltjes op grond van verschillen in dichtheid in lagen verdeeld.

Enkele praktijkvoorbeelden van natmechanische processen zijn:

- . De verwerking van kunststofmengsels; in West-Duitsland zijn enige processen ontwikkeld, waarbij door middel van de gecombineerde technieken hydrocyclonage, flotatie en drijf-zinkscheiding specifieke kunststof-fracties afgescheiden worden.
- . De afscheiding van het lichte metaal aluminium uit mengsels door middel van drijf-zinktechnieken.
- . De drijf-zinktechniek wordt ook toegepast in de accubreekinstallatie bij Billiton in Arnhem voor het scheiden van bijvoorbeeld polypropreen van loodfracties.

In bijlage III zijn meerdere gegevens over "natmechanische technieken" verwerkt.

3.5 (Elektro)magnetische en elektrostatistische technieken

De scheidingstechnieken in deze groep zijn gebaseerd op (para)magnetische eigenschappen, geleidbaarheid of oplaadbaarheid van te scheiden deeltjes.

De eigenlijke scheiding vindt plaats onder invloed van magneet- of elektrische velden.

In bijlage IV zijn ferromagnetische technieken, HGMS (high gradient magnetic separation), eddy-current technieken en elektrostatistische technieken verder uitgewerkt.

Met de desbetreffende technieken kan een hoog scheidingsrendement verkregen worden. Magneetscheiding wordt reeds veelvuldig toegepast voor de afscheiding van ferro-metalen uit heterogene afvallen. De kosten van magneetscheiding zijn vergelijkbaar met die van droogmechanische technieken. De kosten van de overige technieken zijn veelal hoger dan die van de mechanische technieken, vooral die van HGMS.

De technieken worden gebruikt voor:

- . de afscheiding van ferromagnetische metalen Fe, Co en Ni of legeringen ervan;
- . de scheiding van metalen en niet-metalen;
- . de scheiding van non-ferro's onderling.

Het voordeel van deze technieken is dat specifieke metalen tegen acceptabele kosten afgescheiden kunnen worden. Behalve de magneetscheiding zijn de overige technieken op het gebied van afvalverwerking veelal nog in het ontwikkelingsstadium. Met name de eddy-current scheidingstechniek is echter sterk in ontwikkeling. De afscheiding van aluminium uit shredderafval of aluminium uit non-ferro-mengsels wordt hiermee nagestreefd.

Ferromagnetische en eddy-current technieken worden veelal in combinatie met droogmechanische technieken, zoals zeven en/of ziften, toegepast.

3.6 Geavanceerde en overige fysische technieken

Bij de beschrijving van deze groep is met name stilgestaan bij de sorteertechnieken. Dit houdt in dat van een massastroom deeltje voor deeltje bekeken wordt, waarna eventueel na herkenning een afscheiding plaatsvindt.

Al vanouds her staan personen aan lopende banden om bepaalde voorwerpen/materialen/deeltjes te verwijderen. Dit kan ook geschieden aan banden waarmee afvalstromen getransporteerd worden. De verwijdering/afscheiding kan geschieden op basis van:

- a. Positieve herkenning: De af te scheiden voorwerpen/materialen/deeltjes worden verwijderd.
- b. Negatieve herkenning: De verontreinigingen worden verwijderd.

De sortering kan geheel of deels geautomatiseerd zijn. Bijvoorbeeld metaaldeeltjes kunnen één voor één met röntgenfluorescentietechniek al dan niet "herkend" worden. Nadat bepaald is om welk metaal het gaat kunnen de verschillende metalen, met behulp van blaas-, mechanische of andere technieken, met een absolute zuiverheid teruggewonnen worden.

De automatische sorteertechnieken worden ontwikkeld voor de scheiding van metalenmengsels, metalen uit shredderafval, metalen van glas, etc. [13].

Het systeem omvat dus 2 stappen:

1. herkenning;
2. selectieve afscheiding.

Het nadeel van deze technieken is dat alle deeltjes "gezien" moeten worden, hetgeen inhoudt dat de capaciteit altijd relatief laag zal zijn. Daarom zijn er op zeer korte termijn nog geen economische perspectieven.

Naast de verwerking van te herkennen, niet aan elkaar gebonden deeltjes, zou een geautomatiseerde ontmanteling van complexe samengestelde producten een optie kunnen zijn. De 2 stappen van het systeem zijn dan:

1. herkenning;
2. selectieve demontage.

De nadelen die voor geautomatiseerde sortering gelden, gaan in principe ook op voor geautomatiseerde demontage (ontmanteling). Na herkenning

(door middel van röntgenfluorescentie, infrarood detectie, kleurdetectie, etc.) zou bijvoorbeeld door middel van gerichte lasers een specifiek onderdeel of materiaal uit een complex voorwerp verwijderd kunnen worden.

Mechatronika (het samengaan van mechanische systemen met elektronische intelligentie) blijft, alhoewel niet op korte termijn, een optie voor gerobotiseerde ontmanteling.

Als laatste dient opgemerkt te worden dat er een overgang bestaat tussen enerzijds slopen met eenvoudig gereedschap en anderzijds geautomatiseerde ontmanteling. De sloop, ontmanteling als zodanig kan verbeterd worden door verdergaande mechanisering, hetgeen inhoudt dat sommige menselijke handelingen gemechaniseerd worden, of dat de mens met speciaal ontwikkeld gereedschap een aanzienlijk hogere produktiviteit kan verwezenlijken.

In bijlage V zijn meerdere gegevens over "geavanceerde en overige fysische technieken" verwerkt.

3.7 Thermische technieken

De belangrijkste technieken uit deze groep zijn pyrolyse, vergassen, verbranden en pyrometallurgie. Betrokken op NFKC's hebben de eerste 3 technieken tot doel de kunststof(fen) te verwijderen en de laatste het scheiden van non-ferro's onderling.

Het gemeenschappelijke is dat de scheidingsoptie bewerkstelligd wordt door middel van warmtetoevoer, benodigd om de gewenste processen te laten verlopen.

Verbranden en vergassen vinden bij relatief hoge temperatuur plaats, hetgeen in kan houden dat sommige metalen smelten en er eventueel vluchtige metaalverbindingen ontstaan. Pyrolyse kan in principe bij een temperatuur plaatsvinden waarbij de metalen in vaste vorm blijven.

De metalen kunnen echter wel verontreinigd worden met pyrolyseprodukten, c.q. -afvallen, respectievelijk teer/olie en een verontreinigde waterstroom (of slib). De afvalproblematiek is bij pyrolyse mogelijksterwijs groter dan bij vergassen of verbranden.

Het bovenstaande geeft aan dat de keuze van de thermische methode in sterke relatie staat tot de samenstelling van de NFKC, zowel wat betreft de kunststof(fen) als de non-ferro('s).

Na reactie en verwijdering van de kunststoffen respectievelijk verontreinigingen resteert een metaal of metalenmengsel dat verder verwerkt kan worden.

De kosten van de 3 hiervoor besproken technieken zullen variëren tussen f 100 en f 300 per ton verwerkt afval, afhankelijk van de capaciteit van het toegepaste proces. Een voordeel zou kunnen zijn dat de energie-inhoud van de kunststoffen toegepast wordt, hetgeen de energiebalans van het totale proces positief beïnvloedt.

Verbranden is een reeds lang toegepast proces en het afbranden van kunststoffen van kabels komt in de praktijk voor. Vergassen en pyrolyse zijn nog in ontwikkeling, zeker in relatie tot de verwerking van NFKC's. In 5.5 is als voorbeeld gegeven de pyrolyse van elektronisch afval van computers, waarbij de kunststoffen verwijderd worden.

De 3 reeds beschreven technieken houden een voorbereiding in. De daaropvolgende metalenverwerking kan in principe geschieden op pyrometallurgische en/of hydrometallurgische wijze.

Bij pyrometallurgie wordt gebruik gemaakt van het verschil in smeltpunt of van de mogelijkheid om bepaalde metalen of metaalverbindingen te verdampen. Er is vaak een meertrapsproces noodzakelijk om een voldoende hoge zuiverheid van een produkt te verkrijgen. In zo'n meertrapsproces kunnen verschillende oventypes voorkomen. De kosten bedragen honderden guldens per ton, afhankelijk van de aard en samenstelling van de te verwerken metalenmengsels, de benodigde hoeveelheid energie en het gekozen proces (oventypes). Pyrometallurgie wordt in de metaalindustrie, al waar non-ferro's uit afvallen toegevoegd worden, veelvuldig toegepast op grote schaal.

In bijlage VI zijn meerdere gegevens over "thermische technieken" verwerkt.

3.8 Chemische en fysisch-chemische technieken

Deze groep zou verdeeld kunnen worden in drie subgroepen:

1. Reactie van de kunststoffen; de kunststoffen gaan over in een andere aggregatietoestand.
2. Oplossen van de kunststof(fen) respectievelijk van de non-ferro('s).
3. Hydrometallurgie; het optreden van chemische en fysisch-chemische reacties van opgeloste metalen in waterige milieus, waarbij een afscheiding plaatsvindt.

De chemische afbraak van de kunststoffen (onder andere hydrogenerings- en hydrolyse-acties) bewerkstelligt dat de metalen vrijgemaakt worden. De anorganische toeslagstoffen en eventuele reactieresiduen blijven als verontreinigingen achter.

Momenteel wordt onderzoek verricht naar de hydrogenering van kunststofafvalmengsels. De techniek zou mogelijk ook toegepast kunnen worden voor NFKC's. Er ontstaan anorganische verbindingen en een olie, die afgescheiden dient te worden. De kosten zijn echter waarschijnlijk honderden guldens per ton en de techniek is mogelijk slechts aantrekkelijk, indien het om aanzienlijke hoeveelheden kunststoffen gaat.

Het oplossen van de kunststoffen of de non-ferro's zal veelal geschieden na een verkleiningsstap. Het oplossen van kunststoffen is zeer selectief en waarschijnlijk alleen aantrekkelijk indien het één specifieke hoogwaardige kunststof betreft. Het uitloggen, oplossen van de non-ferro('s) kan in principe al plaatsvinden, na voorverkleining, zonder voorafscheiding van de kunststof.

De kunststoffen (en eventuele verontreinigingen) blijven als zodanig in het waterige medium achter en kunnen daarna afgescheiden worden. De mogelijkheid blijft bestaan om metalen selectief op te lossen.

Na het oplossen volgen hydrometallurgische methoden, waarbij specifieke metalen afgescheiden kunnen worden. In bijlage VII is een uitgebreide beschrijving van deze methoden (onder andere ionenwisseling, solvent extractie, elektrochemie) gegeven. In het algemeen kan gesteld worden dat deze technieken metaalspecifiek zijn en dat een non-ferro (of een

verbinding ervan) met grote zuiverheid afgescheiden kan worden.

Hydrometallurgische processen hebben de volgende nadelen:

- . Evenals voor pyrometallurgie bedragen de kosten honderden guldens per ton.
- . Processen kunnen energie-intensief zijn (zoals elektrolyse).
- . Er ontstaan verontreinigde afvalwaterstromen.

Het voordeel van hydrometallurgie boven pyrometallurgie is, dat de eerstgenoemde methode toegepast kan worden op afvallen met lage metalenconcentraties. De processen zijn economisch aantrekkelijk bij de winning van hoogwaardige metalen uit afvallen die geringe hoeveelheden ervan bevatten. Daarnaast kunnen hydrometallurgische in tegenstelling tot pyrometallurgische methoden op kleine schaal toegepast worden.

Sprekend is de ontwikkeling van een hydrometallurgisch proces (ROME, Recycled Oxide Media Extraction) door Environmental Technology (USA, Orlando) waarbij het mogelijk is om zeldzame metalen, zoals goud, platina en palladium uit brijn (pekkel) terug te winnen. Brijn wordt gebruikt bij de winning van aardolie. De concentraties bedragen ca. 1 ppm en volgens de fabrikant is het proces al economisch rendabel bij concentraties van niet meer dan 10-20 ppb [14].

Daarnaast is bekend dat hydrometallurgische technieken in de praktijk toegepast worden om bijvoorbeeld goud terug te winnen uit elektronikaafval.

Pyro- en hydrometallurgische methoden hebben bestaansrecht naast elkaar. De keuze hangt af van specifieke omstandigheden, zoals aard metalen, metalencombinaties en metalenconcentraties. Combinaties van beiden worden in de praktijk toegepast.

Een voorbeeld daarvan wordt getoond in figuur 3.1. In deze figuur is weergegeven welke metalen MHO (Metallurgie Hoboken-Overpelt), België, op specifieke wijzen tot produkten verwerkt [15].

De combinaties van hydro- en pyrometallurgische technieken zijn duidelijk te onderkennen.

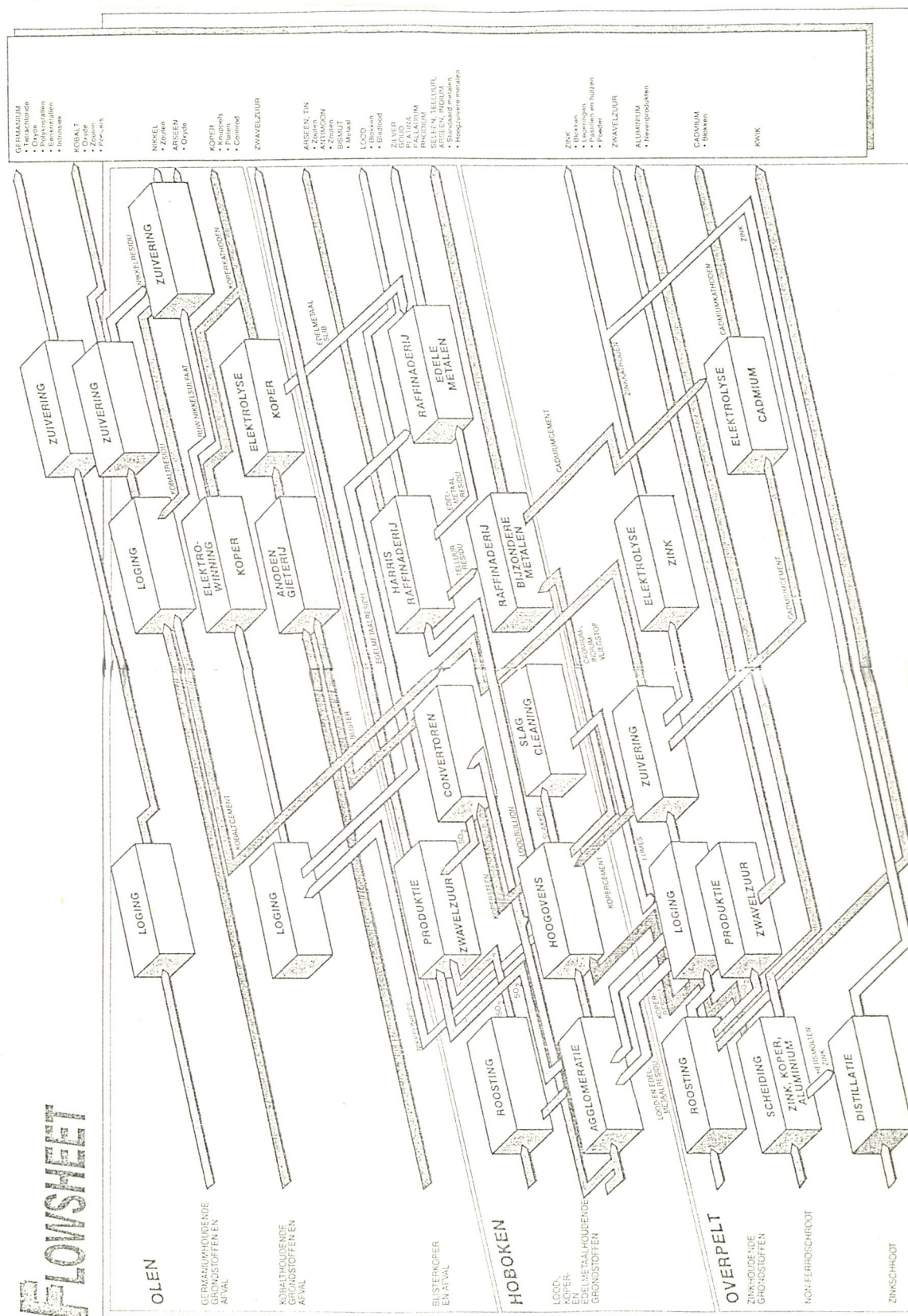


Fig. 3.1 Structuur MHO, België

4. INFORMATIEBESTAND ECONOMISCHE PARAMETERS

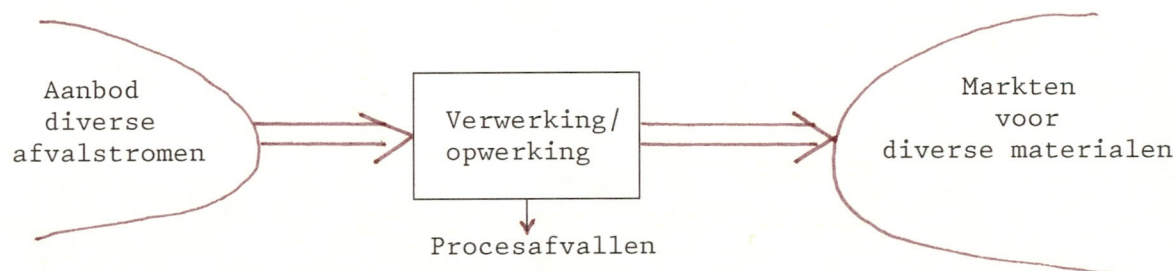
4.1 Inleiding

Door hergebruik van afvallen wordt de noodzaak tot vernietiging en/of gecontroleerde opslag ervan weggenomen. Bovendien zal de voortdurende stroom of diffusie van specifieke wel of niet toxische stoffen/elementen naar de natuurlijke omgeving afnemen als deze langer in diverse kringlopen blijven. Door het verminderen van de milieu-overlast wordt op maatschappelijke kosten bespaard.

Het langer in de kringloop blijven van diverse elementen/materialen duidt op geïntensiveerd hergebruik.

Hergebruik is mogelijk als, na eventuele verwerking/opwerking van afval-
len, de afgescheiden materialen bepaalde toepassingen c.q. markten vinden.

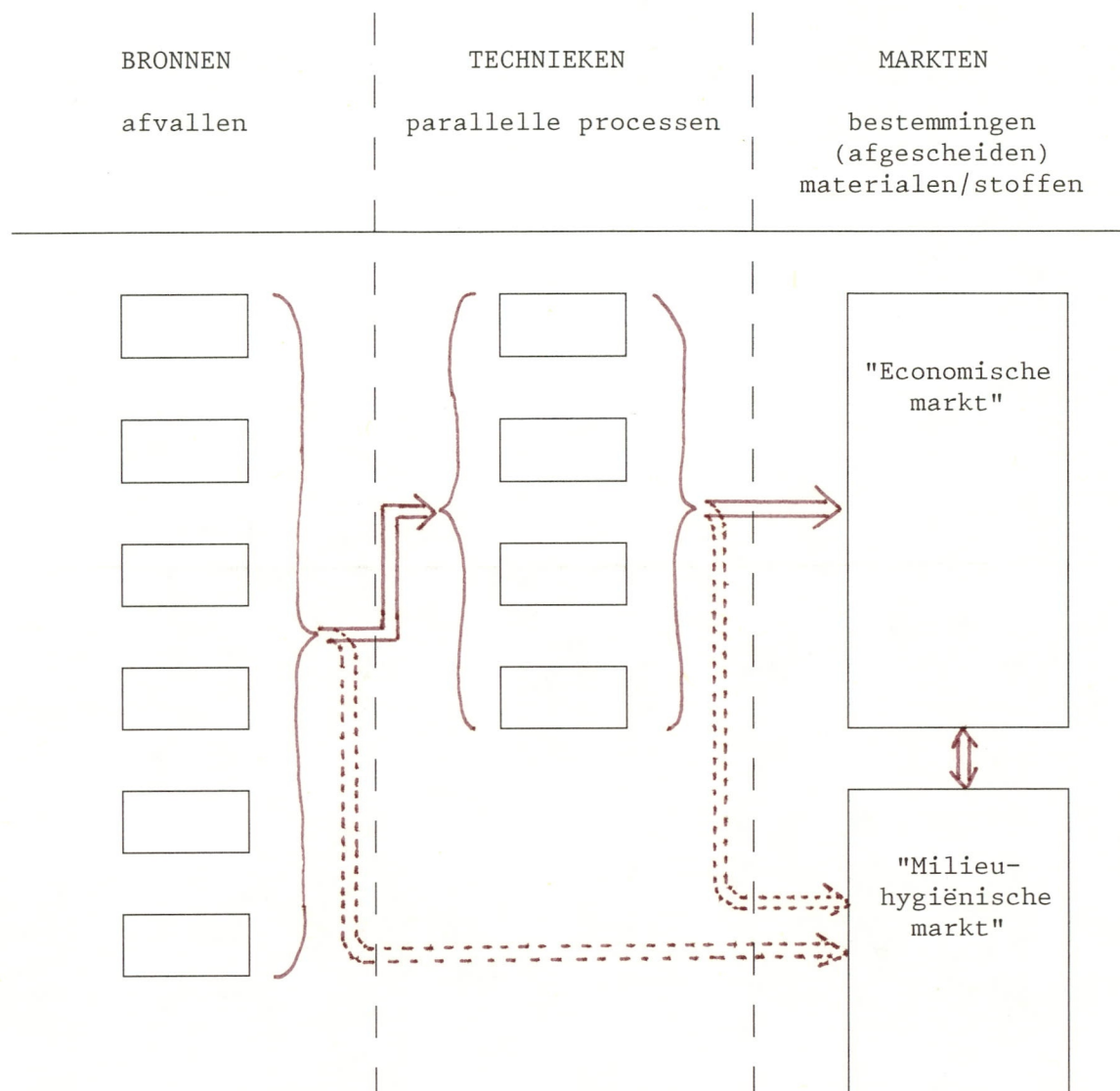
Schematisch wordt het in figuur 4.1 aangegeven.



Figuur 4.1 Hergebruiksschema

Door het vinden van meer afzetmogelijkheden voor diverse afgescheiden materialen/produkten, zal de hoeveelheid procesafvallen sterk verminderd kunnen worden.

De werkelijkheid is uiteraard complexer dan in 4.1 voorgesteld. Er zijn vele bronnen van afvallen; er bestaan vele parallelle opwerkingsprocessen voor afvallen en er zijn daarnaast vele deelmarkten, waarop afgescheiden materialen, c.q. stoffen afgezet kunnen worden. Daarnaast bestaan er tussen de aanbodzijde van afvallen en de opwerking, c.q. de opwerking en de markt tussenopwerking respectievelijk diverse distributiekanaalen. In figuur 4.2 is een uitbreiding van figuur 4.1 gegeven.



Figuur 4.2 Stroomschema opwerking afvallen

Bij de vele bronnen komen afvallen vrij die opgewerkt kunnen worden en na opwerking een economische bestemming krijgen. Daarnaast zijn er afvallen die qua hoeveelheid en/of qua samenstelling geen bedrijfseconomische verwerkingsperspectieven, gericht op hergebruik bieden. Zij vinden een bestemming op de zogenaamde "milieuhygiënische markt", hetgeen inhoudt dat deze afvallen, waaraan procesresiduen toegevoegd kunnen worden, een zodanige bestemming krijgen dat de milieu-overlast geminimaliseerd is. Dit kan in principe geschieden na eventuele opwerkingen van potentieel milieubelastende afvallen.

Doordat afzetmarkten kunnen groeien en krimpen, onder andere vanwege materiaalvernieuwing en -substitutie, zal er voortdurend wisselwerking bestaan tussen de zogenaamde "economische markt" en de "milieuhygiënische markt".

Het dynamische marktgebeuren kan inhouden dat goed afzetbare materialen in de toekomst als afval behaald zullen moeten worden. Een voorbeeld vormt de sterke groei in de toepassing van kunststoffen. Daarbij worden soms non-ferro's en ferro door substitutie vervangen.

4.2 Prijzen materialen

De economische drijfveer wordt bepaald door de mogelijke opbrengst van de afgescheiden materialen. Een hoge opbrengst kan plaatsvinden vanwege het kwantiteitsaspect, of het kwaliteitsaspect of beide.

De recuperatie richt zich hier met name op. Relatief grote afgescheiden hoeveelheden met een relatief hoge opbrengst per gewichtseenheid geven geen afzetproblemen, mits er voldoende afzetmogelijkheden zijn.

Hergebruik geeft meer problemen in het economische krachtenveld, indien er sprake is van:

- a. grote hoeveelheden met een relatief lage opbrengst;
- b. kleine hoeveelheden (onder andere lage concentraties van specifieke elementen/materialen in bulkafval) met een relatief hoge opbrengst.

De recyclingtechnologie, en onderzoek en ontwikkeling daarin, richt zich met name op die afvalcategorieën genoemd bij a en b.

De prijzen per gewichtseenheid zijn voor de recuperanten de signalen, waaraan beslissingen gekoppeld worden, of men al dan niet tot verkoop van afgescheiden materialen overgaat.

Hierna zijn enige prijsindicaties van verschillende non-ferro's en kunststoffen gegeven.

Bovendien is in figuur 4.3 aangetoond dat de materialen aan scherpe prijsvariatiën onderhevig zijn.

De prijzen van secundaire grondstoffen (grondstoffen uit afval) liggen onder die van primaire grondstoffen, maar gaan deze benaderen indien er sprake is van hoge kwaliteiten.

89-021/R.22/C1/IVS

4-4

Prijzen van non-ferro's [2]

. Aluminium	3	kf/ton	
. Zilver	438	"	
. Goud	29.000	"	(Trouw, 2 september 1988)
. Kobalt	28	"	
. Chroom	8	"	
. Koper	2,5	"	
. Nikkel	15	"	
. Lood	1,36	"	
. Palladium	8.250	"	
. Platina	36.630	"	
. Tin	7,80	"	(Recycling, april 1988)
. Zink	2	"	
. Gallium	1.000-2.000	"	
. Germanium	600	"	
. Rhodium	90.000	"	
. Ruthenium	90.000	"	

Prijzen kunststoffen [2]

. ABS (Acrylonitrilbutadienstyreen):	3,20 - 4 kf/ton	
. PC (Polycarbonaat)	: 7,80	"
. PE (Polyethyleen)	: 1,80 - 2	"
. PP (Polypropyleen)	: 2	"
. PS, slagvast (Polystyreen)	: 2,40	"
. PVC (Polyvinylchloride)	: 3,00	"

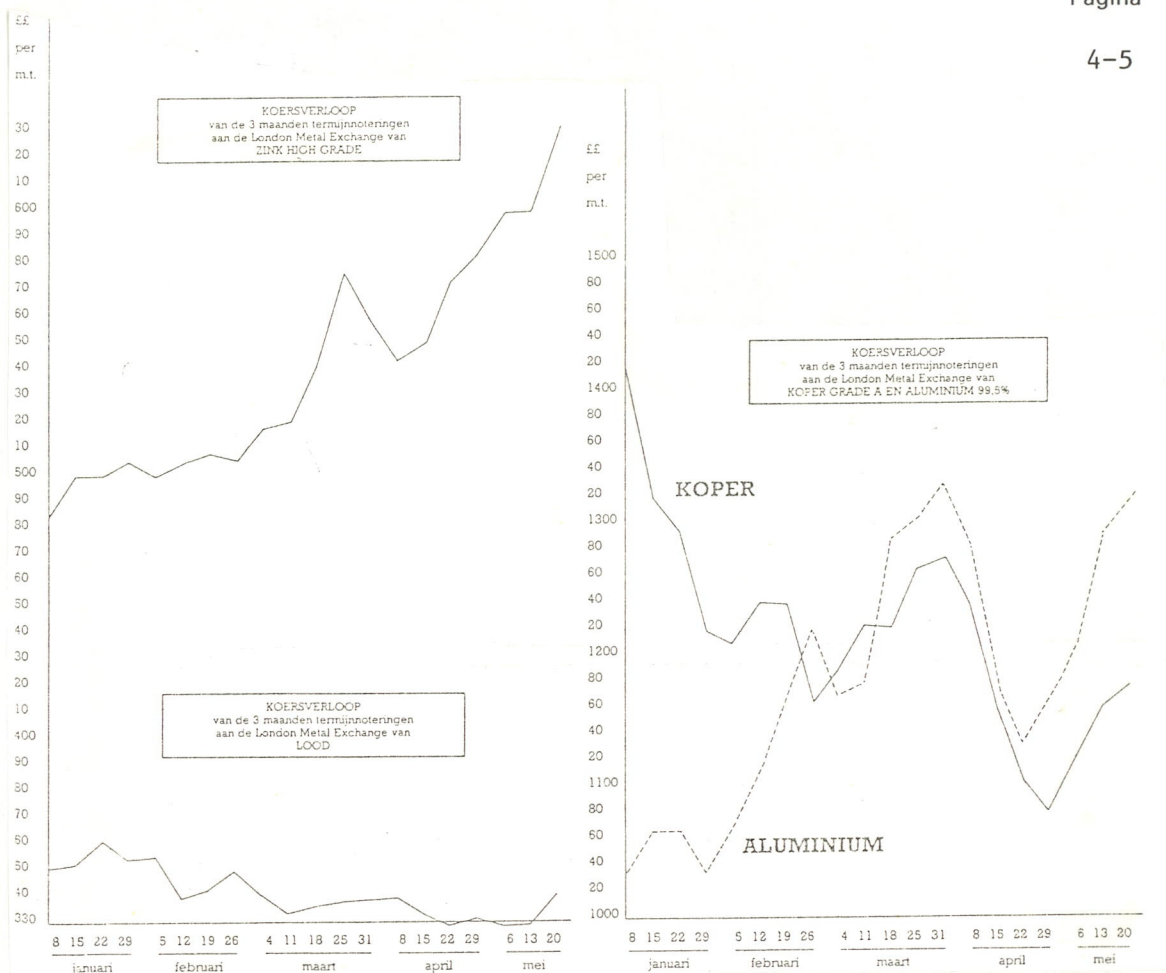


Fig. 4.3 Prijschommelingen van de metalen zink, lood, koper en aluminium [1]

4.3 Vermeden afvalverwerkingskosten

Indien afvallen opgewerkt worden, zullen herbruikbare materialen en procesresiduen afgescheiden worden. Daarbij zal uiteraard het gehalte aan produkten gemaximaliseerd en de hoeveelheid residuen geminimaliseerd worden.

Als hergebruik niet plaats zou vinden, zouden de desbetreffende stoffen als afval tegen bepaalde kosten verwerkt dienen te worden. Er is dus sprake van vermeden afvalverwerkingskosten, als specifieke afvallen hergebruikt worden. Deze vermeden kosten kunnen gezien worden als macro-economische baten.

De relatieve baten per ton zijn groter als chemisch afval, vergeleken met niet-chemische afvallen, wordt hergebruikt. Met andere woorden: De specifieke eigenschappen van de desbetreffende afvallen bepalen mede de

grootte van de baten. Dat deze baten ook meegerekend kunnen worden in een bedrijfskundige opzet toont het volgende voorbeeld aan.

In Zoetermeer produceert Esdex een brandstof (RDF) uit huishoudelijk afval. Tegenover de baten van de produkten en de verwerkingskosten betaalt Zoetermeer het bedrijf Esdex ca. f 75 per verwerkte ton huishoudelijk afval. Deze benaderingswijze zou in principe ook voor de verwerking van NFKC's kunnen gelden.

In tegenstelling tot de prijzen van afgescheiden materialen, die aan fluctuaties onderhevig zijn, vertonen de vermeden afvalverwerkingskosten een redelijk stabiel beeld. De enige trend die te bespeuren valt, is dat de kosten met de tijd zullen toenemen. De volgende voorbeelden onderschrijven dit.

- . In het verleden lagen de storttarieven in de buurt van f 10 - f 20 per ton. Aangezien in de toekomst het storten van niet-chemische afvallen volgens IBC-criteria (Isoleren, Beheren, Controleren) dient te geschieden, zullen de kosten oplopen naar ca. f 60,- per ton. Deze trend wordt onder andere veroorzaakt door de noodzaak van het aanbrengen van isolerende materialen, zoals kunststoffoliën en bemonsteringspunten voor de controle van het percolatiewater.
- . De verbrandingstarieven van niet-chemische afvallen zullen toenemen naar ca. f 120 - f 150 per ton, vanwege onder andere de noodzakelijke, te installeren rookgasreinigingssystemen in nieuw te bouwen installaties.
- . De tarieven voor de verwerking van chemisch afval nemen ook toe. AVR-Chemie hanteerde, hanteert de volgende tarieven:

	1985	1988
Verwerkbaar via roosteroven (voor vaste chemische afval- stoffen in bulk)	vanaf f 220/ton	f 230 - f 240/ton

- . De tarieven voor de C₂-deponie (deponie voor de chemische afvallen uit de C₂-categorie), gelegen bij de AVR, zullen ca. f 200 - f 250/ton, afhankelijk van de samenstelling, gaan bedragen.

4.4 Kosten verwerking procesresiduen

Tegenover de baten van afgescheiden produkten/materialen staan de kosten voor de verwerking van ontstane procesresiduen. Tijdens de bedrijfsvoering van de recyclingprocessen zal immer getracht worden de hoeveelheden elders te verwerken procesresiduen te minimaliseren (voor tarieven, zie 4.3).

Een bedrijfseconomische opstelling kan verstoord worden door de volgende aspecten. Bij de verwerking van niet-chemische afvallen (vermeden afvalverwerkingskosten zijn relatief gezien laag) kunnen chemische procesafvallen ontstaan (de afvalverwerkingskosten zijn relatief hoog). Dit verschijnsel kan veroorzaakt worden door twee aspecten:

1. Bepaalde elementen/stoffen worden zodanig geconcentreerd in de recyclingprocessen dat chemische afvallen ontstaan.
2. De verwerking van afvallen c.q. produkten die vrijgesteld zijn volgens het Processen- en Stoffenbesluit van de Wet Chemisch Afval kan residuen genereren, die wel onder de desbetreffende wet vallen.

De dan ontstane extra kosten, zullen opgevangen dienen te worden door de baten van de afgescheiden produkten/materialen. Indien zeer hoogwaardige materialen zoals platina en goud gerecycled worden is soms sprake van een situatie waarbij relatief lage concentraties teruggewonnen en relatief grote hoeveelheden als afval tegen kosten verwerkt worden.

4.5 Economische ruimte verwerkingsprocessen

De ruimte voor de verwerkingskosten wordt bepaald door de volgende regel:

$$\begin{aligned} \text{Verwerkingskosten} &\leq \text{Opbrengsten produkten (zie 4.2)} + \\ &\quad \text{Vermeden afvalverwerkingskosten (zie 4.3)} - \\ &\quad \text{Verwerkingskosten residuen (zie 4.4)}. \end{aligned}$$

De verdeling tussen de hoeveelheden produkten en residuen wordt bepaald door:

- a. de aard van de aangeboden afvalhoeveelheden;
- b. de gestelde optie wat betreft gewenste produkten/materialen;
- c. de eigenschappen/parameters van het toegepaste proces.

De ruimte is dus het grootst als:

1. Een grote hoeveelheid produkten tegen een hoge prijs hergebruikt kan worden.
2. Er vermeden wordt dat de betreffende verwerkte partijen als chemisch afval afgevoerd zouden moeten worden.
3. Er weinig procesresiduen ontstaan, die dan alsnog tegen geringe kosten een eindbestemming vinden.

Vanwege het dynamische marktgebeuren, waarbij de afzet van diverse materialen onder voortdurende druk staat, kan de grootte van de economische ruimte voor het toepassen van specifieke recyclingprocessen voortdurend variëren. De marktgroottes en de opbrengsten van de diverse materialen zijn van grote betekenis voor de ruimte waarbinnen recyclinginitiatieven zich afspelen.

Vanwege de geschetste voortdurende druk wordt er altijd gezocht naar diversiteit in de markt. Nieuwe toepassingen; andere hergebruiksmogelijkheden (bijvoorbeeld niet de afzet als metaal, maar als metaalverbinding of legering) geven een recyclingindustrie de mogelijkheid om flexibel in te spelen op krimpende markten.

Via innovaties zal er bovendien voortdurend ingespeeld worden op de mogelijkheden die de ruimte voor de verwerkingskosten biedt.

Is deze ruimte bijvoorbeeld niet al te groot, dan zal er gezocht worden naar opwerkingsprocessen met lage bedrijfskosten.

5. AUDIO-/VIDEO-APPARATUUR EN PERSONAL COMPUTERS

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt elektronische apparatuur als gekozen demo-stroom uitgewerkt. In principe is er echter sprake van een aantal demo-stromen:

* 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.

In paragraaf 5.2 is de keuze nader beargumenteerd. De materialen-, soms onderdelenopbouw, is in 5.3 beschreven. Met deze karakterisering is het in principe mogelijk aan te geven of er voldoende economische perspectieven zijn de gekozen apparatuurstroom te verwerken. Waarom de aangeboden apparatenstroom in tweeën gesplitst wordt, wordt in 5.4 beschreven. In 5.5 zijn enige verwerkingsalternatieven uitgewerkt. Met name wordt daarbij ook aandacht besteed aan de verwerking van de printplatenfrac-

tie.

In 5.6 wordt een reële verwerkingsroute beschreven, waarna in 5.7 op de economische aspecten van de verwerking ingegaan wordt.

5.2 Argumentatie van de keuze

De argumenten voor de keuze van audio-/video- en computerapparatuur zijn:

- Er komen vele apparaten in het afvalstadium vrij en dit aantal zal stormachtig groeien.
- In de apparaten worden metalen, die een bulktoepassing kennen (bijvoorbeeld lood, koper, aluminium) en zeldzame metalen (bijvoorbeeld platinagroep, zeldzame aarden) toegepast. Daarnaast kunnen hoogwaardige kunststoffen (bijvoorbeeld ABS en slagvast PS) gebruikt zijn.
- Indien de apparaten niet gerecycled worden, maar een alternatieve verwerking ondergaan, ontstaan chemische afvallen, vanwege de toegepaste metalen en metalloïden (bijvoorbeeld lood, cadmium, arseen en antimoon).
- De toepassing van steeds meer geavanceerde materialen in deze productenbranche vereist een geavanceerde verwerking in het afdankstadium.

In 5.3 is deze keuze verder onderbouwd.

5.3 Karakterisering afgedankte apparatenstroom

Door TNO is ingeschat dat in de beginjaren negentig minimaal de in tabel 5.7 gegeven aantallen apparaten jaarlijks in het afvalstadium zullen vrijkomen.

Omdat grotere computers (deels) nu nog apart door gespecialiseerde bedrijven verwerkt worden, is deze stroom niet verder onderzocht qua verwerkingsaspecten. Slechts personal computers zijn in het verdere verloop van het onderzoek meegenomen.

Tabel 5.1 Aantallen apparaten, jaarlijks vrijkomend, in het afvalstadium

Apparaat	Aantal (jaarlijks)
. Kleurentelevisie	330.000 - 495.000
. Zwart-wit televisie	116.000 - 174.000
. Videorecorder	127.000 - 190.000
. Radio/tuner	363.000 - 545.000
. Band-, cassette recorder, tapedeck	347.000 - 520.000
. Platenspeler	307.000 - 461.000
. Aparte versterker	143.000 - 214.000
. Home computer, personal computer	97.000 - 120.000

In totaliteit betekent dat, dat in het begin van de jaren negentig jaarlijks minimaal ca. 30.000 ton elektronische apparatuur vrijkomt.

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 monitoren, die afgedankt worden. In bijlage VIII zijn samenstellingen van enige apparaten gegeven [3].

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
- . cassette decks, -recorders
- . platenspelers
- . midisets
- . radio-cassette recorders.

Daartoe zijn apparaten aangeschaft, selectief ontmandeld en is de samenstelling op basis van gewichtsverdeling naar materialen/onderdelen bepaald. De resultaten zijn gegeven in de bijlagen IX, X en XI.

De literatuur geeft een indicatie, dat met name de printplatenfractie edele, hoogwaardige non-ferro's kan bevatten.

Door de U.S. Department of Commerce is in 1983, in opdracht van de Environmental Protection Agency, een inventarisatie gemaakt van de materialen die worden gebruikt bij de vervaardiging van een aantal elektronikacomponenten en de hierbij optredende emissies naar water en lucht [5].

In bijlage XII wordt kort beschreven welke materialen in de verschillende elektronikacomponenten mogelijk worden toegepast.

Hoewel de in [5] gerapporteerde inventarisatie van toegepaste materialen in elektronikacomponenten kwalitatief van aard is, kan het belang van het gebruik van waardevolle metalen als palladium, tantaal, platina, zilver en goud, alsmede van toxische elementen als arseen, antimoon, lood, seleen en dergelijke indirect worden afgeleid.

Kwantitatieve gegevens omtrent de samenstelling van elektronikacomponenten worden in de literatuur in het algemeen slechts gegeven voor de gehalten aan waardevolle metalen, met name goud en/of zilver. De gegevens hebben veelal betrekking op apparatuur uit de jaren 50 en 60.

Een overzicht van de in de literatuur gevonden gehalten van enige waardevolle metalen in elektronikacomponenten is gegeven in tabel 5.2.

Tabel 5.2 Gehalten van Au, Ag en Pd in elektronisch afval

Materiaal	Gehalte ¹⁾ (troy ounce/ton)			Literatuur
	Goud	Zilver	Palladium	
Gesmolten elektronisch afval uit militaire vliegtuigen	12	119		[6]
Elektronisch afval uit militaire vliegtuigen	6.4	148		[7]
Elektronische componenten uit B-47 bommenwerper	0.5	58.6	1.1	[8]
"Recent" elektronisch afval (onbekende herkomst)	7.1	57.8	1.0	[8]
"Low-grade" elektronisch afval uit telecommunicatiecentrales	1	3-10	1-7	[9]

1) 1 Troy ounce = 31.1 gram

Op basis van prijzen van september 1988 voor edele metalen vertegenwoordigen de in bovenstaande tabel aangegeven afvalstromen een intrinsieke waarde van \$ 730 - 5900 per ton (gesmolten) elektronisch afval.

Omtrent de gehalten edelmetalen aanwezig in audio-visuele apparatuur en personal computers zijn geen kwantitatieve gegevens beschikbaar. Bekend is wel dat de gehalten van met name goud lager zijn dan in bijvoorbeeld grote computers uit de jaren 60. Een indicatie hiervoor is ook dat bedrijven, gespecialiseerd op de terugwinning van metalen uit elektronisch afval, zich richten op specifieke typen elektronika.

Aangezien er weinig bekend is over de gehalten aan specifieke elementen zijn specifieke printplatenfracties nader geanalyseerd met behulp van neutronenactivering. De analytische methode is nader beschreven in bijlage XIII. De analyseresultaten staan vermeld in bijlage XIV.

In tabel 5.3 zijn de gemiddelde waarden weergegeven.

89-021/R.22/C1/IVS

5-6

Tabel 5.3 Analyses van printplatenfracties

	Printplatenfractie		
	Pcnieuw ¹⁾ (ppm)	Mixed ²⁾ (ppm)	Pcoud ³⁾ (ppm)
Na	1.840	2.070	1.580
Al	48.000	63.600	47.400
Cl	1.860	3.160	1.490
K	< 102.000	< 95.000	< 90.000
Sc	1,7	2,7	3,1
Ti	< 13.000	< 13.000	< 10.300
V	<200	< 190	< 130
Cr	1.610	997	1.075
Mn	21.500	16.300	17.800
Fe	108.300	108.700	76.800
Co	83	91	88
Ni	3.160	7.250	2.040
Cu	37.000	44.900	29.800
Zn	14.500	21.500	14.160
As	< 52	< 33	< 71
Se	< 10	< 6	< 11
Br	27.000	14.760	29.500
Rb	< 112	< 47	< 60
Sr	< 930	< 730	< 890
Zr	< 1.000	384	< 660
Mo	155	< 130	579
Ru	< 57	17	< 61
Ag	757	674	1.053
Cd	395	347	326
Sn	31.350	33.400	16.300
Sb	4.500	2.820	4.150
J	< 170	< 170	< 150
Cs	1,7	1,6	< 1,9
Ba	3.580	2.260	6.140
La	29	71	27
Ce	51	21	22
In	< 1,9	< 2,3	< 2,1
Eu	1,9	1,6	1,4
Tb	< 0,7	< 0,6	< 0,9
Yb	< 4	< 2	< 4
Lu	< 0,5	< 0,4	< 0,5

Tabel 5.3 Analyses van printplatenfracties (vervolg)

	Printplatenfractie		
	Pcnieuw ¹⁾ (ppm)	Mixed ²⁾ (ppm)	Pcoud ³⁾ (ppm)
Hf	5,3	5,5	11,3
Ta	192	59	113
W	< 63	< 46	< 88
Ir	< 0,05	< 0,03	< 0,04
Au	92	31	70
Hg	9,0	8,3	< 17
Th	2,7	2,7	4,3
U	< 36	< 26	< 40
Ga	< 1.000	< 760	< 1.270
Ge	< 240.000	< 180.000	< 290.000
Pr	< 750	< 740	< 1.130
Pd	< 1.210	< 1.100	< 1.500
Rh	< 2.100	< 2.100	< 1.600

1) printplatenfractie van relatief nieuwe personal computers

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

3) printplatenfractie van relatief oude personal computers

Aangezien bij neutronenactivering de activiteit, gevormd uit het mangaan overheersend was, zijn de gehalten van enige edele, strategische metalen opnieuw bepaald. De analysemethodiek (een nat-chemische wijze) is kort beschreven in bijlage XV. De resultaten zijn in tabel 5.4 gegeven.

Tabel 5.4 Analyses van printplatenfracties

	Printplatenfractie		
	Pcnieuw ¹⁾ (ppm)	Mixed ²⁾ (ppm)	Pcoud ³⁾ (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

Op basis van ervaring is door een deskundige van het Centrum voor Polymeren Materialen van TNO geschat uit welke polymeren de kunststof omkastingen bestaan. De resultaten zijn in tabel 5.5 gegeven.

Tabel 5.5 Bepaling van de soort polymeer waaruit kunststof omkastingen bestaan

Apparaat			Soort polymeer
Personal computer	: Commodore PC 1 ; modum monitor toetsenbord		slagvast PS ABS ABS
	Tulipe Extend ; modum monitor		thermoharder slagvast PS
	Commodore 4032 ; modum monitor		PPO (geschuimd) PPO (geschuimd)
Videorecorder	: Blaupunkt Sony		slagvast PS slagvast PS
Kleurentelevisie	: Graetz ; achterzijde onderdelen		slagvast PS slagvast PS
	Expert ; achterzijde onderdelen		slagvast PS ABS
	REX 26 RT 435 ; front achterzijde onderdelen		ABS slagvast PS polyamide
	REX 26 RT 418 ; front achterzijde		ABS PPO (geschuimd)
	Barco-Gaguin ; achterzijde		slagvast PS
Midiset	: Novotec ; omkasting		slagvast PS
Radio-cassetterecorder	: Frontec ; omkasting		slagvast PS
	: Philips ; omkasting		slagvast PS
Cassetterecorder	: Audio Sonic ; omkasting		slagvast PS
Cassettedeck	: Sanyo ; omkasting		slagvast PS
	: Technics ; omkasting		slagvast PS
Platenspeler	: Audio Sonic ; speakers omkasting kap		ABS ABS SAN

De beeldbuizen bestaan ook uit verschillende materialen. In tabel 5.6 is de verdeling gegeven.

Tabel 5.6 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

Opvallende aspecten, afgeleid van de resultaten, gegeven in de bijlagen VIII, IX, X, XI en de tabellen 5.3 t/m 5.6, zijn:

- . 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.
- . Bij de audio- en video-apparaten 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.
- . Omkastingen van kunststof bestaan voor een belangrijk deel uit slagvast polystyreen. Daarnaast wordt ABS (acrylonitrilbutadienstyreen) of PC (polycarbonaat) toegepast [4].
- . PVC is een belangrijk toegepast kabelmateriaal [4].
- . Als printplaatmateriaal wordt onder andere polyphenyleensulfide toegepast [4].

- . 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.

Resumerend kan gesteld worden dat vele soorten kunststoffen en non-ferro's, in combinatie met belangrijke hoeveelheden ferro en soms glas, gebruikt worden in de constructie van elektronische apparatuur.

Naar onderdelen toe is er sprake van een aantal grote onderdelen in combinatie met vele kleine.

Enkele "grote" onderdelen (op gewichtsbasis) zijn:

- . Omkasting
- . Frame
- . Beeldbuis
- . Kabelmateriaal
- . Printplaten
- . Trafo('s)

In principe zou het verwerkingstechnisch, binnen economische randvoorwaarden, interessant kunnen zijn grotere onderdelen selectief te verwijderen; zie 5.5 t/m 5.7.

Belangrijke toegepaste verbindingvormen zijn:

- . Schroefverbindingen
- . Lasverbindingen
- . Soldeerverbindingen
- . Lijmverbindingen
- . Klemverbindingen.

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.

5.4 Splitsing afgedankte apparatenstroom in deelstromen

Uit de karakterisering (zie 5.3) blijkt dat glashoudende apparaten (kleurentelevisies, zwart-wittelevisies, monitoren computers; zie onder andere tabel 5.1) 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.

Aangezien de optie van het onderzoek is om geavanceerde technieken toe te passen voor de afscheiding van relatief hoogwaardige materialen, is besloten om in eerste instantie de glashoudende en niet-glashoudende apparatenstroom apart te verwerken. Deze keuze sluit uiteraard niet uit, dat daarvoor in aanmerking komende processtromen, na enige opwerkingen, gecombineerd verder verwerkt worden.

5.5 Verwerkingsalternatieven

Uit 5.3 en [4] blijkt dat in elektronische apparatuur vele soorten metalen en kunststoffen voorkomen. Er is sprake van complexe afvallen, zowel naar materialensamenstelling als naar de verscheidenheid van toegepaste verbindingsvormen toe.

Indien van deze complexe afvallen, met een belangrijk aandeel aan ferro en specifieke non-ferro's, zoals Al en Cu, sprake is, werd of wordt er erg snel gekozen voor droogmechanische verwerkingsroutes. Deze keuze wordt gemaakt vanwege de relatief lage proceskosten. Voorbeelden daarvan zijn:

- . Verwerking van elektronika-afval bij Van Balkom Non Ferro Scheiding B.V. (vroeger Delco Recycling). De toegepaste technieken zijn: Verkleinen, ontijzeren, zeven, luchtclassificatie en triltafelprocessen.
- . Verwerking van autowrakken. De toegepaste technieken zijn: Verkleinen, ontijzeren, luchtclassificatie en handsortering.

De volgende nadelen kunnen ontstaan bij de keuze van verkleining als eerste verwerkingseenheid:

- . De verkleining is vaak aselectief, waardoor het met de daaropvolgende technieken vaak moeilijk wordt schone fracties af te scheiden.
- . Een relatief grote hoeveelheid verwerkingsafval kan overblijven met de daarmee samenhangende milieuproblematiek (een voorbeeld is het shredderafval dat ontstaat na de verwerking van autowrakken).
- . De opbrengsten van de daarna afgescheiden fracties zijn relatief laag vanwege de verontreinigingen.

De opgesomde nadelen vormen de aanleiding om om te zien naar alternatieve verwerkingswijzen (of toegevoegde technieken aan bestaande deelprocessen). Daarbij is mede gebruik gemaakt van de gegevens van hoofdstuk 3.

Op basis van de samenstellingsanalyse is voorgesteld om kleuren-tv's, zwart-wit-tv's en monitoren, vanwege het grote glasaandeel apart te verwerken. Daarnaast bestaat de mogelijkheid om na verwijdering van onder andere de beeldbuizen dit afval bij het overige elektronika-afval te voegen.

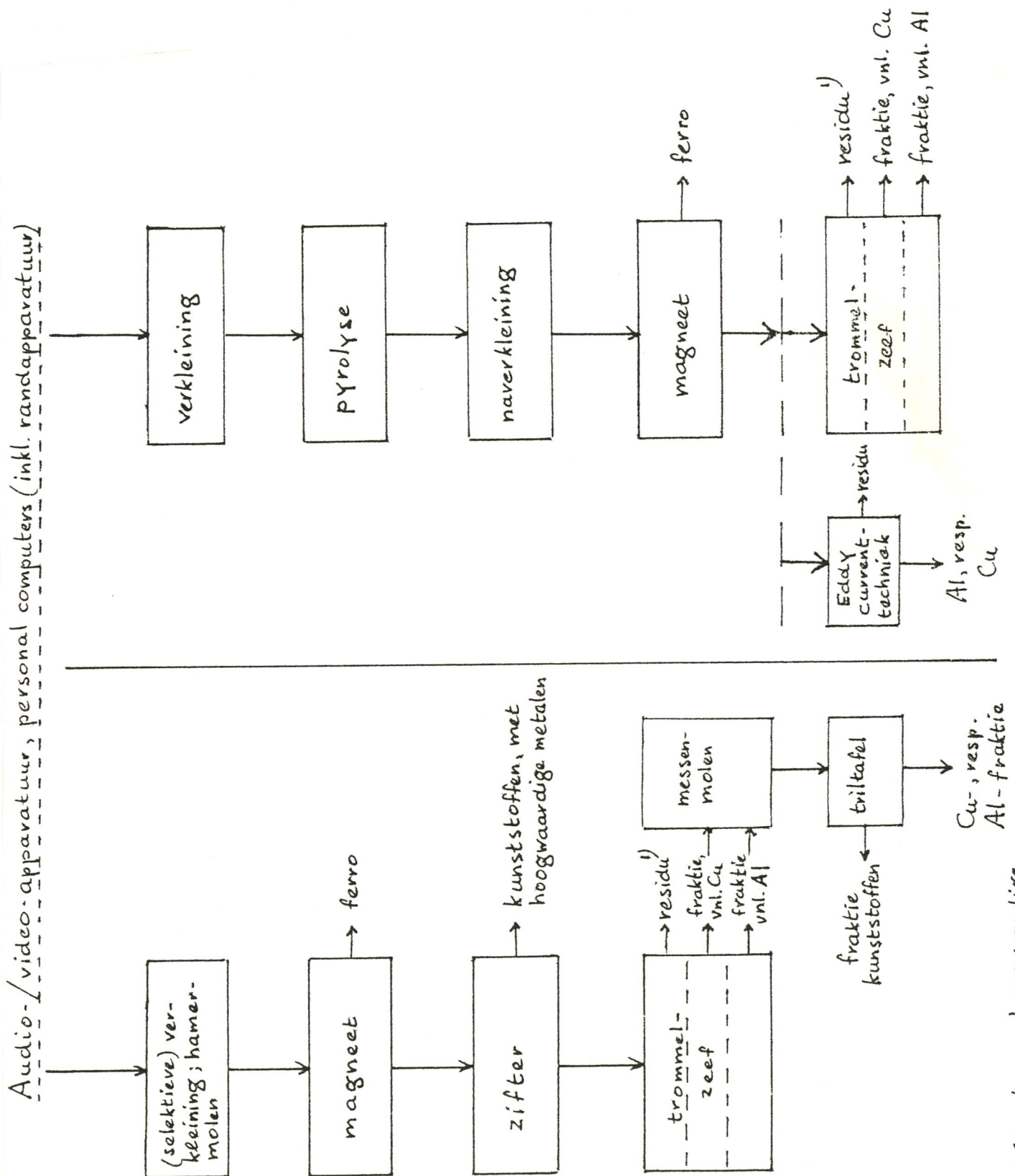
In figuur 5.1 zijn 2 potentiële verwerkingsroutes aangegeven voor de totale hoeveelheid audio-/video-apparatuur en personal computers. De eerste verwerkingslijn lijkt op die, toegepast door Van Balkom Non Ferro Scheiding B.V. In figuur 5.2 zijn mogelijkheden weergegeven, waarbij de technische verwerking volgt na selectieve verwijdering van:

1. beeldbuizen; deze onderdelen verstoren de verdere opwerking;
2. printplaten; deze onderdelen bevatten voor een belangrijk deel de belangrijke hoogwaardige metalen en op deze wijze wordt verstoring van het opwerkingsproces door andere onderdelen voorkomen; daarnaast blijft de optie van de verkoop van printplaten (of delen ervan) als onderdelen gehandhaafd;
3. omkastingen; er is een trend om deze onderdelen te vervaardigen uit hoogwaardige kunststoffen, die niet verontreinigd in principe voor hergebruik in aanmerking komen.

De daaropvolgende bewerkingen zijn met name gericht op de terugwinning van Fe, Al en Cu.

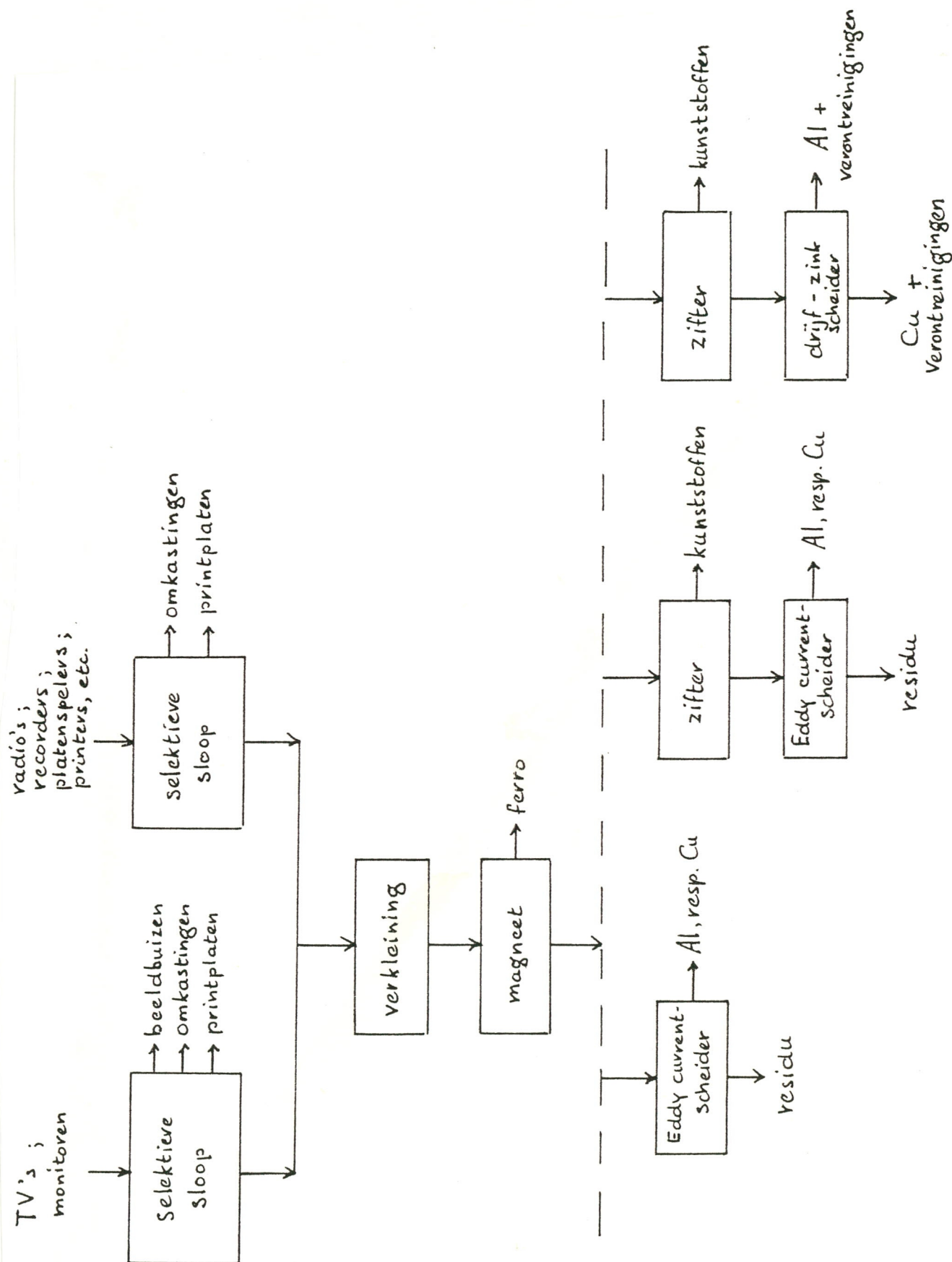
Een afgescheiden onderdelengroep vormen de printplaten. De terugwinning van metalen, en met name de hoogwaardige metalen, geschiedt door middel van hydrometallurgische technieken volgend na voorberekingen.

De voorbereking houdt massareductie en ontsluiting in, dus inclusief eventuele voorafscheiding van sommige fracties. In figuur 5.3 zijn enige opwerkingsopties gegeven. Opvallend daarbij is dat het veelal gaat om de combinatie verkleinen, fysische afscheiding en oplossen. Soms wordt een thermische techniek geïntroduceerd om de kunststoffen af te scheiden. De ingebouwde pyrolysestap wordt in de praktijk toegepast in West-Duitsland, Mannheim [12]. Daarbij richt men zich echter slechts op computerafval.

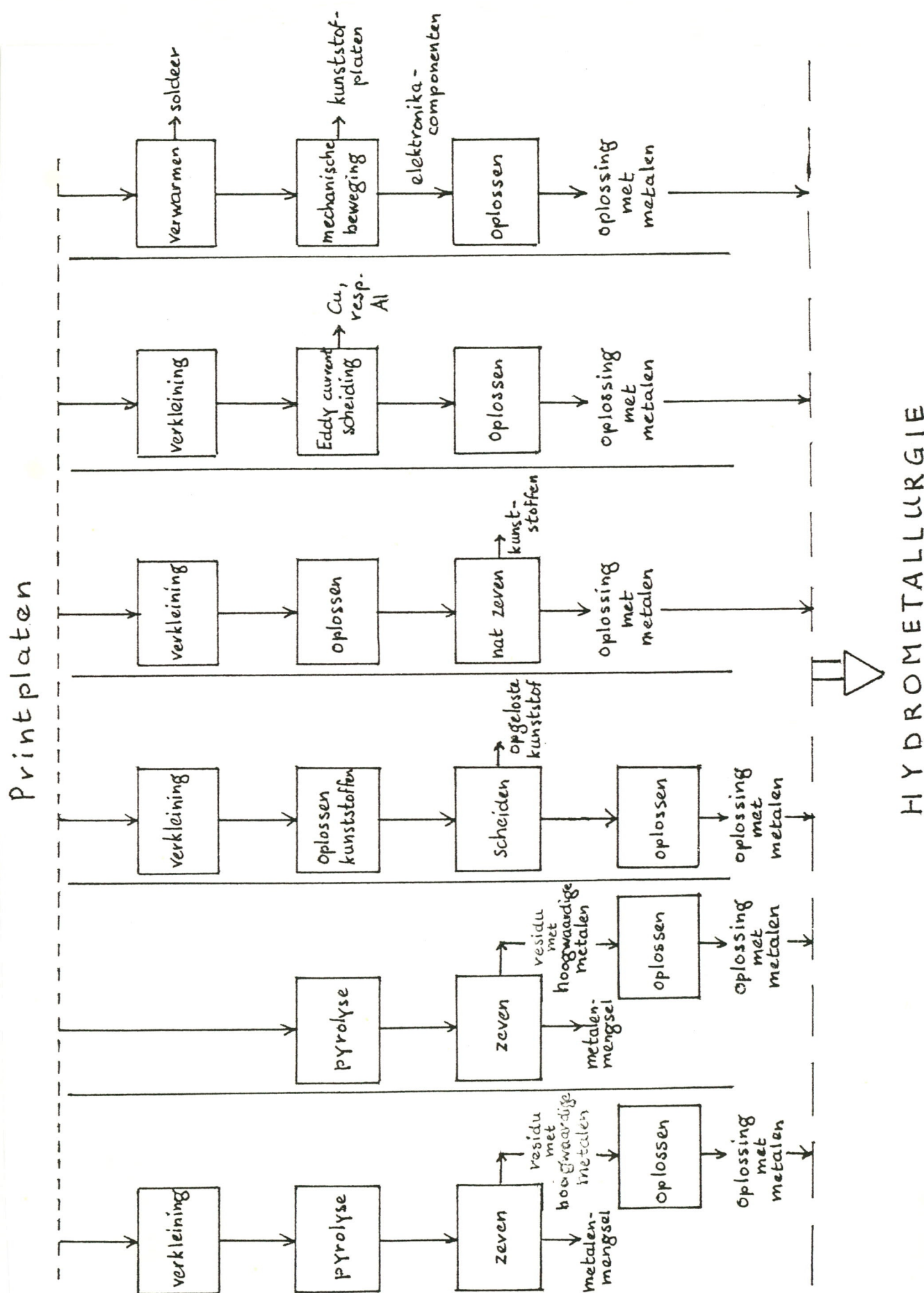


¹⁾ in residu komen hoogwaardige metalen voor

Figuur 5.1 VERWERKINGSROUTES VOOR ELEKTRONISCHE APPARATUUR



Figuur 5.2 GESCHIEDEN VERWERKING VAN TV's, MONITOREN ENERZIJD EN OVERIGE APPARATUUR ANDERZIJD



Figuur 5.3 PRINTPLATENOPWERKING

5.6 Opzet verwerkingsprocessen

In de geest van de door 4 ministeries ondersteunde notitie "Preventie en hergebruik van afvalstoffen" zijn processen opgezet, waarbij een maximaal hergebruik nagestreefd wordt [19].

5.6.1 Te verwerken afvalstroom

In tabel 5.7 is samengevat weergegeven welke apparatenstroom technisch verwerkt dient te worden. De aantallen apparaten zijn afgeleid uit tabel 5.1. De massaflow, en de samenstelling ervan, is berekend met behulp van de gegevens uit de bijlagen VIII t/m XI. Uit tabel 5.7 blijkt wederom dat de beeldbuizen, omkastingen en printplaten in de te verwerken stroom dominant aanwezig zijn. Tijdens de diverse experimenten zijn zwartwit-televisies niet ontmanteld en geanalyseerd. De samenstelling ervan is gegeven door literatuurbron [17].

De totale hoeveelheid te verwerken apparatuur zal in de beginjaren negentig ca. 30.000 ton/jaar bedragen. Deze hoeveelheid zal toenemen naar 40.000-50.000 ton/jaar indien de volgende apparatuur ook aan een centrale verwerkingsinstallatie aangeboden wordt:

- . gecombineerde audio-apparatuur (radio-cassetterecorders, tuner-versterkers met cassette recorder; etc.); hiervan waren geen CBS-cijfers wat betreft hoeveelheden beschikbaar;
 - . CD-spelers;
 - . kantoorapparatuur, zoals elektronische schrijfmachines, kopieerapparaten en printers;
 - . grotere computers;
- etc.

Daarnaast zal het volume van de verschillende toegepaste apparaten naar alle waarschijnlijkheid nog verder toenemen. Dit houdt uiteraard in dat het volume van de afgedankte apparatenstroom ook zal groeien.

5.6.2 Het centrale verwerkingsproces

In figuur 5.4 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 5.4 blijkt dat deze keuze verder geen repercussies heeft.

Tabel 5.7 Te verwerken apparatenstroom

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

. 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. Daarnaast wordt voorkomen dat een, in grootte, belangrijke fractie ongewenst vermengd wordt.

De beeldbuizen worden afgescheiden, omdat verkleining van dit brosse materiaal resulteert in fijn materiaal, dat tijdens de verkleiningsstap met de overige materialen intens vermengd wordt. Bovendien worden fijne glassplinters in kunststoffen, c.q. hout geslagen, hetgeen inhoudt dat deze materialen ongewenst verontreinigd worden. Integrale verwerking houdt ook in, dat de mogelijkheid van de afscheiding en afzet van een relatief zuivere glasfractie onmogelijk 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.

Indien uit bedrijfseconomische overwegingen blijkt, dat de handmatige sloop te omvangrijk is, zal deze activiteit beperkt blijven tot beeldbuizen en eventueel deels printplaten; zie 5.7.

Voor de handmatige sloop dient geavanceerd sloopgereedschap ontworpen te worden. Als voorbeeld hierbij zou de selectieve sloop van autowrakken kunnen dienen. De STIBA (Stichting Belangenbehartiging Autosloop-bedrijven) onderzoekt de optimalisatie van selectieve ontmanteling. Deze eerste stap in het proces zal in de nabije toekomst (uit het oogpunt van kostenverlaging) verder geautomatiseerd dienen te worden.

- . 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, ontsloten worden.
- . Met behulp van een magneet wordt de ferrofractie afgescheiden.
- . Aluminium en koper worden daarna afgescheiden door middel van een Eddy current-scheidingstechniek.
- . De nog resterende "elektronikafractie" bestaat uit niet vooraf afgescheiden printplaten, kunststoffen en mogelijkwerwijs metalen, keramiek, etc., omdat de reeds toegepaste technieken niet met 100% rendement functioneren.

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.

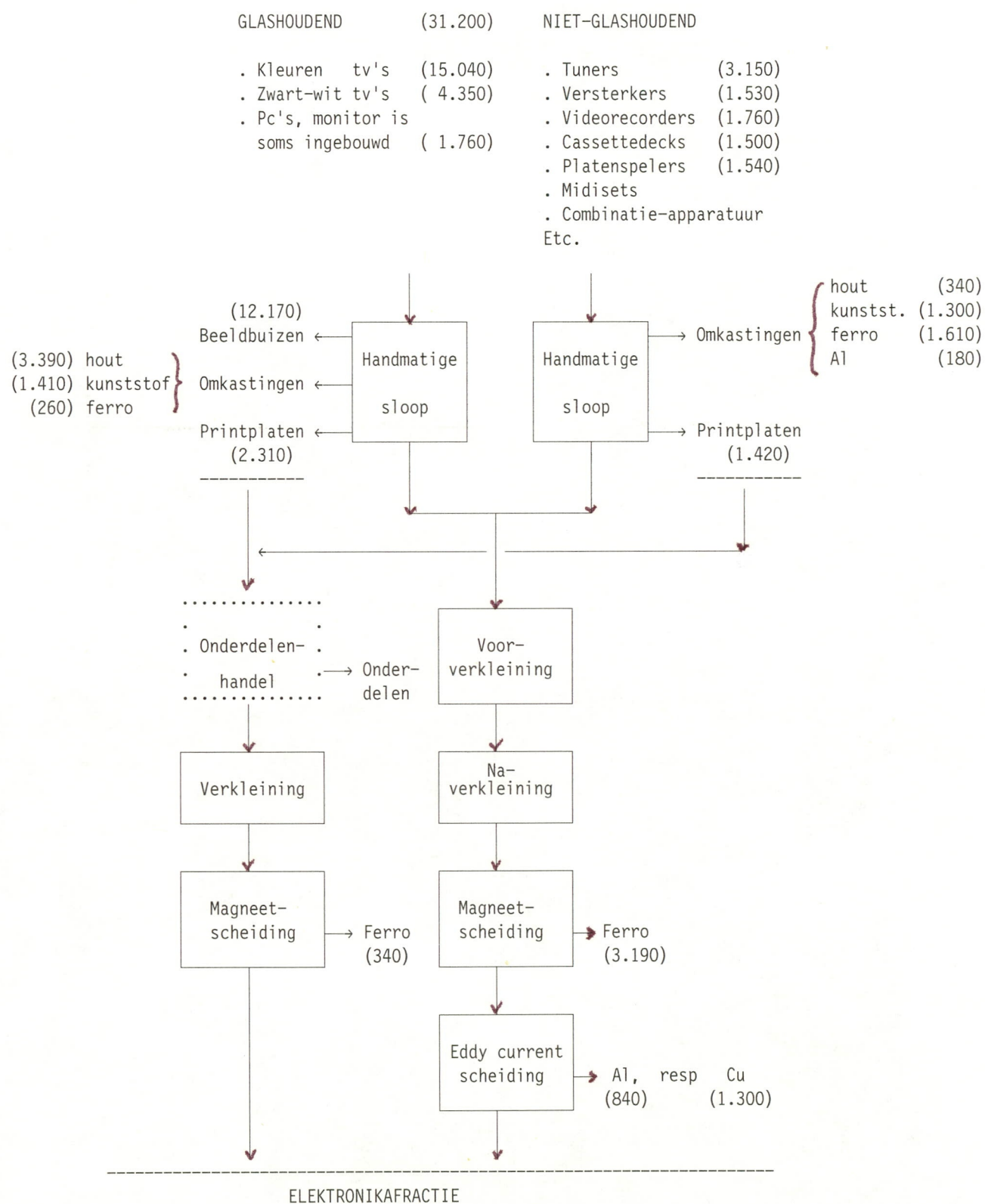


Fig. 5.4 Het centrale verwerkingsproces, inclusief massastromen
(tussen haakjes staan de hoeveelheden in ton/j)

5.6.3 Verwerking omkastingen

De omkastingen bestaan uit de volgende materialen:

- . Hout (3730 ton/j)
- . Kunststoffen (2710 ton/j)
- . Ferro (1870 ton/j)
- . Aluminium (180 ton/j)

Bij de handmatige sloop worden deze 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 (zie tabel 5.5). Een geoefend sloper zal na verloop van tijd deze kunststof van de overige kunnen onderscheiden. Na eventuele scheiding op kleur worden hoogwaardige afzetbare fracties verkregen. (De PS-fractie uit audio/video-apparatuur is nagenoeg altijd zwart.)

5.6.4 Verwerking beeldbuizen

In figuur 5.5 is geïllustreerd uit welke stappen een mogelijk verwerkingsproces voor de verwerking van beeldbuizen is opgebouwd.

De stapsgewijze verwerking is als volgt:

- . De beeldbuizen worden gesorteerd en op een zodanige wijze automatisch gericht, verankerd dat de volgende procesmatige handeling uitgevoerd kan worden.
- . Deze handeling bestaat uit het overdwers "doorsnijden" ("doorzagen") van de beeldbuis; zie figuur 5.5. Het "doorsnijden" geschiedt met een waterstraal onder hoge druk. De twee verkregen delen volgen een apart proces. (Laserstraal is een optie; deze techniek bevindt zich echter nog in het ontwikkelingsstadium.)
- . De glazen voorplaten bevatten aan de binnenzijde een luminescerende laag. Deze laag voorkomt dat een relatief zuivere glasfractie afge-

scheiden 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 Ce:SrS (blauw) [16].

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 mogelijkerwijs voor relatief laagwaardige toepassingen afzetkanalen vindt, maar naar alle waarschijnlijkheid gestort zal moeten worden.

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 afvallen blijft de optie van glashergebruik echter gehandhaafd.

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

5.6.5 Verwerking printplatenfractie

In figuur 5.6 is geïllustreerd uit welke stappen een mogelijke route voor de verwerking van de printplatenfractie (de elektronikafractie) is opgebouwd.

De verwerking is als volgt:

- . De printplatenfractie ondergaat een thermische bewerking; namelijk pyrolyse:
 - ≡ Afscheiding van lood/tin-soldeer (dit materiaal heeft een laag smeltpunt).
 - ≡ Afscheiding van de kunststoffen in de vorm van pyrolyseprodukten.

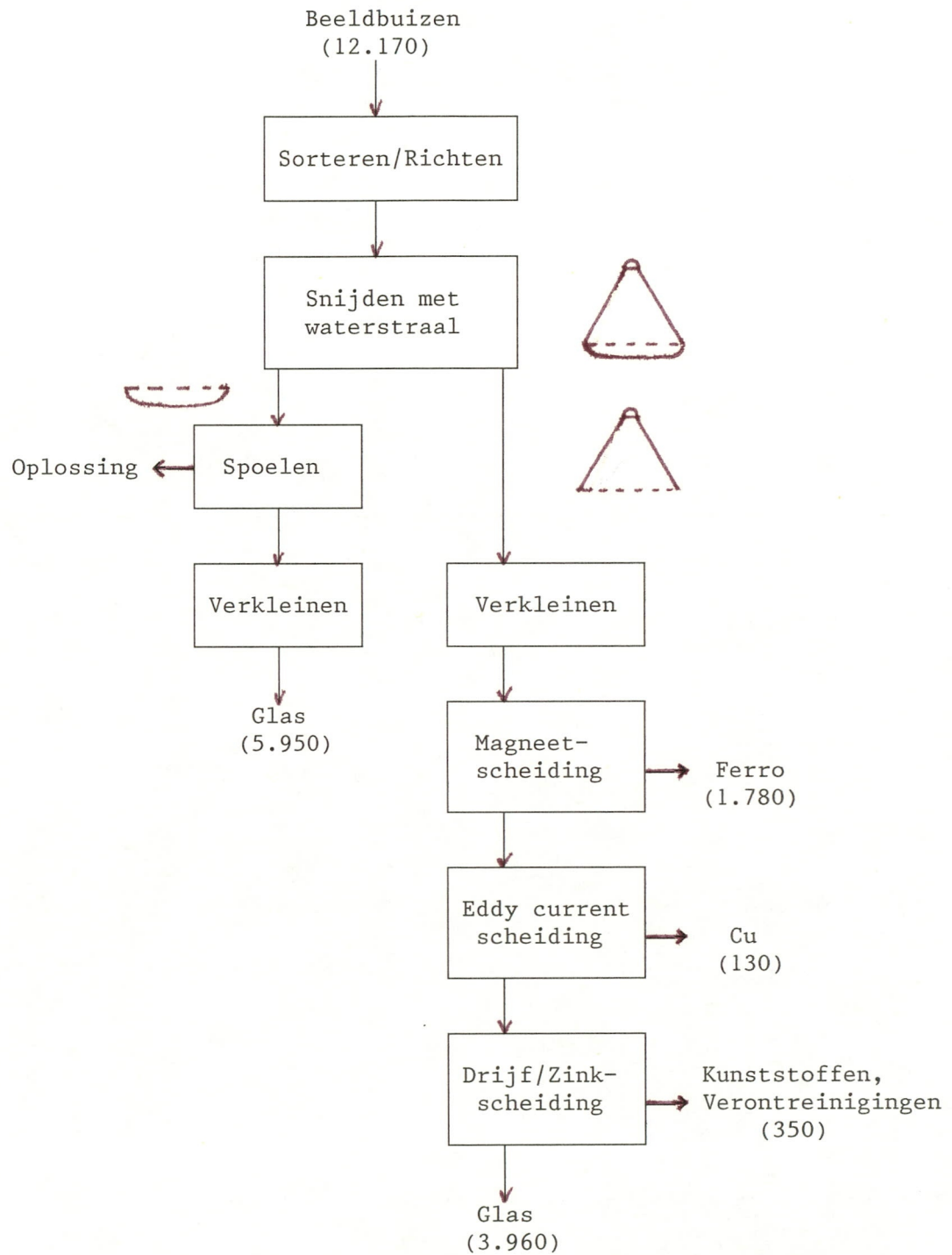


Fig. 5.5 Verwerking beeldbuizen
(tussen haakjes staan de hoeveelheden in ton/j)

Naar alle waarschijnlijkheid zullen beide materialen in één apparaat (eventueel met een temperatuurgradiënt) afgescheiden worden. Het solder 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 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 [12] en eigen inzichten is gekozen voor een thermische voorbewerking onder reducerende omstandigheden.

Als alternatieve optie blijft gehandhaafd dat de elektronikafractie direct bij de metaalverwerkende industrie wordt afgezet (zoals 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.

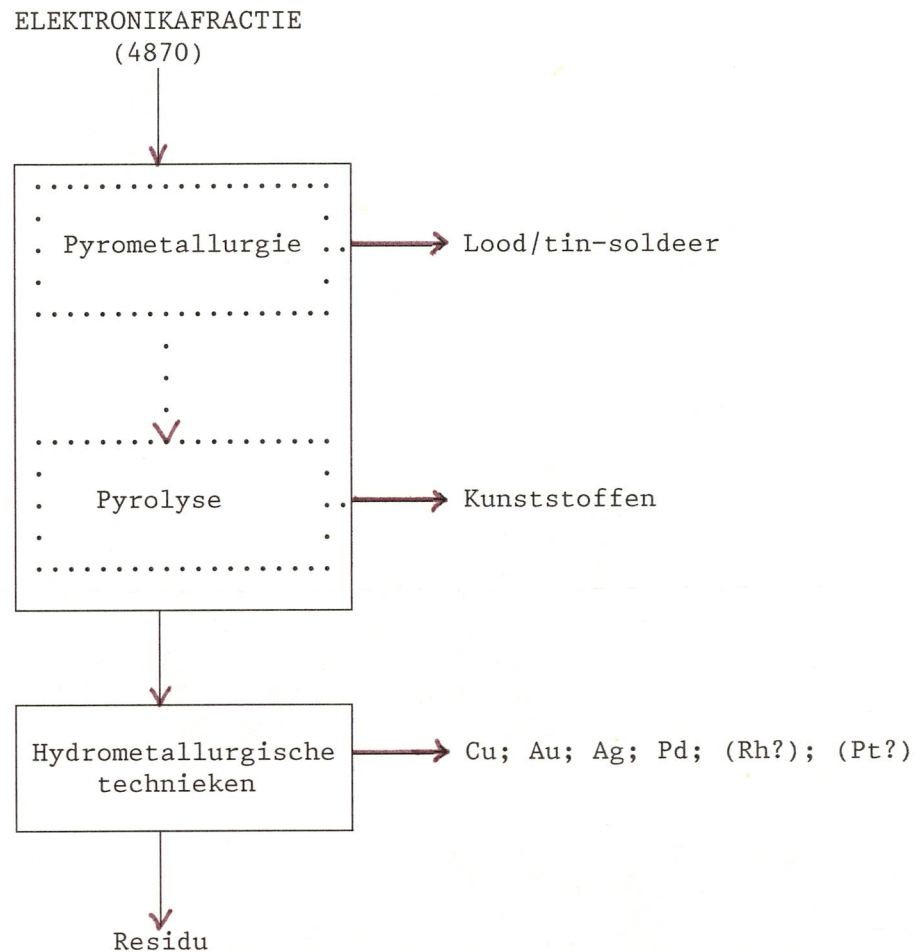


Fig. 5.6 Verwerking printplatenfractie
(tussen haakjes staan de hoeveelheden in ton/j)

5.7 Economische berekeningen

5.7.1 Inleiding

Bij deze berekeningen is uitgegaan van het feit dat de inzamelstructuur zodanig is, dat alle apparatuur op 1 plaats te zamen komt. Mogelijkerwijs dat het centrale verwerkingsproces (zie figuur 5.4) op enkele plaatsen gerealiseerd wordt. Dit zal eerder haalbaar worden als deze (voor)bewerking (eventueel deels) geschikt is voor meerdere apparatengroepen (afvalstromen). Dit alternatief is in het kader van deze studie niet verder uitgewerkt.

In 5.7.2 zijn de economische aspecten van het centrale verwerkingsproces verder uitgewerkt.

De beeldbuizen- en printplatenverwerking worden respectievelijk in 5.7.3 en 5.7.4 nader bedrijfseconomisch beschouwd. De hoeveelheden, die in tabel 5.7 samengevat zijn, vormen de basis van economische berekeningen en daarvan afgeleid de opbrengsten (van materialen) en kosten. De opbrengsten en kosten van de afgescheiden fracties zijn samengevat in 5.7.5 waarna in 5.7.6 nog een nadere analyse gegeven wordt.

5.7.2 Centraal verwerkingsproces

Zoals in figuur 5.4 aangegeven bestaat het belangrijkste deel van dit proces uit de selectieve ontmanteling (met speciaal daarvoor ontworpen gereedschap). Het slopen gebeurt voor het overgrote deel handmatig. In deze paragraaf zijn 2 alternatieven verder uitgewerkt:

- . Situatie A: omkastingen, beeldbuizen en (belangrijkste) printplaten worden verwijderd van alle aangeboden apparaten.
- . Situatie B: omkastingen, beeldbuizen en (belangrijkste) printplaten van de beeldbuisbevattende apparaten worden verwijderd.

Situatie B is apart beschouwd. Indien de handmatige sloop beperkt wordt tot de tv's (en eventueel monitors), worden de kosten gedrukt. Er is aangenomen dat de glasstroom de verdere opwerking nadelig beïnvloedt (er zouden inferieure materiaalstromen na verwerking ontstaan), zodat beeldbuizen in ieder geval selectief verwijderd dienen te worden.

De gemiddelde slooptijd is geraamd op basis van het uitgevoerde onderzoek. In situatie A worden zowel tv's als sneller demonteerbare apparaten verwerkt. Voor de gemiddelde slooptijd is 4 minuten per apparaat aangenomen. 1 persoon kan, in geval van 1750 effectieve werkuren, per jaar 26.250 apparaten van de grotere onderdelen ontdoen. In situatie A zijn 87 personen benodigd voor de selectieve sloop. In het geval alleen tv's handmatig gesloopt worden, zal de gemiddelde slooptijd ca. 5 minuten bedragen. De verwerking van tv's zal (in verband met mogelijke breuk van de beeldbuis) zorgvuldiger dienen te geschieden. Daardoor zijn in situatie B 21 personen nodig (voor 560.000 tv's).

Daarnaast is de inzet van een aantal personen noodzakelijk voor de ont-

vangst, opslag, intern transport van apparatuur en afvoer van materialen. Voor situatie A is gerekend met de inzet van ca. 13 personen en voor situatie B ca. 10 personen (minder te slopen apparaten).

Voor leiding en toezicht, administratie, verkoop en onderhoud is gerekend met de volgende inzet:

situatie A: 25 personen;

situatie B: 15 personen.

Voor het demonteren van de apparatuur en het opwerken van diverse fracties zijn de investeringen geschat; zie tabel 5.8.

Tabel 5.8 Investerings centraal verwerkingsproces

Apparatuur	Aantal	Situatie A capaciteit: 3 ton/h (Dfl.)	Situatie B capaciteit: 7 ton/h (Dfl.)
Snijmolen	2	100.000	200.000
hamermolen	2	100.000	200.000
Magneet	2	50.000	50.000
Eddy-currentscheider	2	300.000	300.000
Rising-currentscheider*	1		200.000
Transportbanden	200 m (A) 150 m (B)	600.000	450.000
Sets handapparatuur	100 (A)	200.000	
selectieve ontmanteling	30 (B)		60.000
Vorkheftruck	1	50.000	50.000
Tafels; karren; hulptransportbanden; elektra; aansluiting pneumatiek; onvoorzien	diverse	200.000 400.000	90.000 400.000
Totaal		2.000.000	2.000.000

* De rising-currentscheider wordt ingezet in situatie B en geplaatst voor de eddy-currentscheiders met als doel deze te ontlasten. Dit geschiedt door middel van de afscheiding van kunststoffen en hout. Deels zullen mogelijkterwijs printplaten met deze stroom meegevoerd worden. Na de eddy-currentscheiding kan eventueel de desbetreffende fractie bij de elektronikafractie gevoegd worden. Nader onderzoek zal dienen aan te tonen of deze voorscheiding noodzakelijk is.

89-021/R.22/C1/IVS

5-32

Op basis van een afschrijvingstermijn van 5 jaar en een rente van 7%, waaruit een annuïteitsfactor volgt van 24,5%, bedragen de jaarlijkse investeringskosten voor de processen: f 490.000 (zowel voor situatie A, als voor situatie B).

Voor de handmatige sloop, procesmatige verwerking, opslag en administratieve faciliteiten zijn de volgende behoeften aan bedrijfsruimten gesteld:

	Situatie A	Situatie B
Procesruimte	$100 \times 50 \times 4 \text{ m}^3 = 20.000 \text{ m}^3$	$50 \times 50 \times 4 \text{ m}^3 = 10.000 \text{ m}^3$
Magazijn/opslag	$50 \times 25 \times 4 \text{ m}^3 = 5.000 \text{ m}^3$	$50 \times 25 \times 4 \text{ m}^3 = 5.000 \text{ m}^3$
Kantoor	$10 \times 20 \times 4 \text{ m}^3 = 800 \text{ m}^3$	$10 \times 20 \times 4 \text{ m}^3 = 800 \text{ m}^3$

Volgens [18] gelden de volgende investeringen per m³:

. Produktiegebouw, inclusief verwarming en verlichting	: f 180 - f 270
. Magazijn/opslag, fundering op beton, inclusief Sprinkler en branddetectie	: f 70 - f 100
. Kantoor	: f 400 - f 600

Op basis van een afschrijvingstermijn van 40 jaar en een rente van 7%, waaruit een annuïteitsfactor volgt van 7,5%, bedragen de geschatte jaarlijkse kosten van gebouwen inclusief verwarming, verlichting, verzekering en onderhoud:

- . situatie A : f 600.000;
- . situatie B : f 400.000.

In tabel 5.9 zijn de verschillen tussen situatie A en B samengevat.

Tabel 5.9 Kosten* centraal verwerkingsproces

	Situatie A	Situatie B
Aantallen apparaten per jaar	2.274.000	tv's 560.000 overige 1.714.000
Totale stroom (ton/j)	31.200	tv's 19.400 overige 11.800
Personele kosten:		
100 x Dfl 60.000/j (Dfl)	6.000.000	
25 x Dfl 75.000/j (Dfl)	1.875.000	
31 x Dfl 60.000/j (Dfl)		1.860.000
15 x Dfl 75.000/j (Dfl)		1.125.000
Kosten van gebouwen (Dfl)	600.000	400.000
Kosten procesapparatuur (Dfl)	490.000	490.000
Totale kosten (Dfl)	8.965.000	3.875.000
Kosten per ton (Dfl)	287	124
Kosten per apparaat (Dfl)	3,94	1,70

* Bij deze globale kostenberekening zijn de in grootte belangrijkste posten gecalculeerd.

Bij minder handmatige voorafscheiding zullen de mechanisch afgescheiden fracties in kwaliteit dalen, hetgeen van nadelige invloed is op de latere opbrengsten. Opdat een optimaal hergebruik nagestreefd wordt, zal situatie A in 5.7.5 en 5.7.6 uitgewerkt worden. Nader praktisch onderzoek zal dienen aan te tonen in hoeverre situatie B toch economische perspectieven biedt.

5.7.3 Verwerking beeldbuizen

Uit het centrale verwerkingsproces komen beeldbuizen geconcentreerd vrij (zie figuur 5.4): ca. 12.000 ton/j. De fractie bevat voornamelijk glas (ca. 10.000 ton/j) en de metalen ferro en koper (ca. 2.000 ton/j). In tabel 5.6 is een nauwkeuriger gewichtsverdeling naar materialen gegeven. De opbrengsten, de verkoop van ferro, koper en eventueel glas, inclusief

de vermeden afvalverwerkingskosten maken mogelijkerwijs een aparte verwerking van de beeldbuizen haalbaar.

De eventuele glasopbrengsten dienen de geavanceerde opwerking van de beeldbuizen (het overdwars doorsnijden met een waterstraal of eventueel laserstraal, zie fig. 5.5) financieel te dragen. Indien er geen afzetmogelijkheden zijn voor glas kan volstaan worden met een eenvoudigere procesvoering, slechts gericht op de terugwinning van ferro en koper: Verkleinen → magneetscheiding → eddy-currentscheiding.

Glasopbrengsten van de voorplaten (hoogwaardig glas), inclusief vermeden afvalverwerkingskosten (zie fig. 5.5) zijn: $6.000 \text{ ton} \times (f 50/\text{ton} + f 50/\text{ton}) = f 600.000$.

Dit geeft de raming van de economische ruimte voor de inzet van de geavanceerde snijtechniek aan. Bij hogere glasopbrengsten en hogere afvalverwerkingskosten neemt deze ruimte toe.

De metaalopbrengsten:

$1780 \text{ ton/j} \times f 200/\text{ton} (\text{ferro}) + 130 \text{ ton} \times f 2500/\text{ton} (\text{Cu}) + 1.910 \text{ ton/j} \times f 50/\text{ton} (\text{vermeden afvalverwerkingskosten}) \approx f 750.000 - f 800.000/\text{jaar}$, dragen de inzet van de vereenvoudigde procesvoering: Verkleinen → magneetscheiding → eddy-currentscheiding.

Nader uit te voeren onderzoek zal aan moeten tonen of de aparte beeldbuizenopwerking levensvatbaar is.

Daarbij staat niet alleen de economische, maar ook de technische haalbaarheid (van de geavanceerde snijtechniek) ter discussie.

5.7.4 Verwerken printplatenfractie

De verwerking van de elektronikafractie, voornamelijk printplaten, bestaat uit een pyrometallurgisch en een hydrometallurgisch deel, zie fig. 5.6.

De inzet van relatief dure technieken is gebaseerd op de potentiële opbrengsten van edele, strategische metalen, zoals Au, Ag en Pd. In tabel 5.10 zijn de totale intrinsieke metaalwaarden van printplatenfracties, gebaseerd op de uitgevoerde analyses, gegeven in de tabellen 5.3 en 5.4, samengevat.

Tabel 5.10 Intrinsieke metaalwaarden printplatenfracties

Metaal	prijs (Dfl./ton)	Printplaten					
		Personal computer nieuw		Personal computer oud		Audio-/video-apparatuur	
		gehalte (ppm)	waarde (Dfl./ton)	gehalte (ppm)	waarde (Dfl./ton)	gehalte (ppm)	waarde (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

* gehalten bepaald met behulp van neutronenactivering

** gehalten bepaald met behulp van natchemische methoden.

Ondanks dat bij een verwerking de metalen niet volledig ontsloten en geëxtraheerd worden, kan gesteld worden dat een opbrengst van ca. 3000/ton elektronikafractie haalbaar lijkt. De opbrengsten aan metalen nemen toe, indien meerdere metalen afgescheiden worden. Daar staan echter meer proceskosten tegenover. Nader onderzoek zal dienen aan te tonen welke procesoptie (welke combinatie van pyro- en hydrometallurgische technieken) haalbaar is.

5.7.5 Opbrengsten en kosten afgescheiden fracties

Zoals reeds in 5.6 opgemerkt is het beleid van de nationale overheid erop gericht een maximaal hergebruik na te streven. Dit is mede gebaseerd op het steeds nijpender wordende probleem van beschikbare stort-ruimte. De in 5.6 beschreven processen zijn, gelet op deze problematiek,

als zodanig ontworpen. De meeste afgescheiden stromen 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 5.11 samengevat. De kosten van residustromen naar eindbestemmingen (veelal stort- of verbrandingslocaties) zijn in tabel 5.12 gegeven.

Tabel 5.11 Opbrengsten afgescheiden fracties

	Hoeveelheid (ton)	Prijs per eenheid * (Dfl./ton)	Opbrengst (Dfl.)
<u>Centraal verwerkingsproces (fig. 5.4)</u>			
Omkastingen:			
. kunststoffen (vnl.slagvast PS)	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
Magneetscheiding			
. ferro	3.530	100- 300	353.000- 1.059.000
Eddy current scheiding			
. 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 (fig. 5.5)</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>Elektronika verwerking (fig. 5.6)</u>			
. metalen (Au, Ag, Pd, etc.) uit 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 kwaliteitsvariaties van de afgescheiden fracties, omdat de voeding naar de processen toe ook niet van constante kwaliteit zal zijn.

Tabel 5.12 Kosten afgescheiden residufracties

	Hoeveelheid (ton)	Prijs per eenheid (Dfl./ton)	Kosten
Centraal verwerkingsproces (fig. 5.4) houten omkastingen (verbranding)	3.730	0-125	0- 446.000
Beeldbuizenverwerking (fig. 5.5)			0- 198.000
. glas (storten)	3.960	0- 50	0- 44.000
. kunststoffen (verbranding)	350	0-125	
Elektronika verwerking (fig. 5.6) . residu ** (storten)	5.000	200-300	1.000.000-1.500.000
Totaal	13.040		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.

5.7.6 Economische ruimte

Indien geen procesmatige verwerking plaatsvindt zal de elektronische apparatuur gestort of verbrand dienen te worden. De maatschappelijke kosten zijn dan:

. Storten : $31.200 \text{ ton} \times f \ 50/\text{ton} = f \ 1.560.000$;

. Verbranden : $31.200 \text{ ton} \times f \ 125/\text{ton} = f \ 3.900.000$.

Deze maatschappelijke kosten gaan toenemen, indien afgedankte apparatuur als (klein) chemisch afval (onder andere gezien de zware metalen die erin voorkomen) beschouwd wordt:

$$31.200 \text{ ton} \times f \ 200-f \ 300/\text{ton} = f \ 6.240.000 - f \ 9.360.000.$$

Hierna zullen van de procesmatige verwerking, centrale voorverwerking, beeldbuizenverwerking en elektronikaverwerking, de economische aspecten samengevat worden.

Centrale voorverwerking

a) De vermeden afvalverwerkingskosten bedragen:

Metalen (storten)	: 7720 ton x f 50/ton =	f 386.000
Kunststoffen (verbranden)	: 2710 ton x f 125/ton =	<u>f 339.000</u>
		f 725.000

b) De opbrengsten zijn (zie tabel 5.11):

Metalen + kunststoffen : f 3.131.000 - f 11.235.000.

c) Totale positieve baten (a + b) zijn:

f 3.856.000 - f 11.960.000.

d) De kosten van de te verwerken residustromen (zie tabel 5.12) zijn:

0 - f 466.000.

e) De proceskosten zijn (situatie A), zie tabel 5.9 : f 8.965.000.

f) Totale kosten zijn (d + e):

f 8.965.000 - f 9.431.000.

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

Beeldbuizenverwerking

a) De vermeden afvalverwerkingskosten bedragen:

Glas + metalen (storten): 7860 x f 50/ton = f 393.000.

b) De opbrengsten zijn (zie tabel 5.11):

Glas + metalen : f 486.000 - f 1.530.000.

c) De kosten van de te verwerken residuen zijn (zie tabel 5.12):

Glas + kunststoffen: 0 - f 242.000.

d) De ruimte voor de proceskosten is (a + b - c):

f 637.000 - f 1.923.000.

Uit d) volgt dat de ruimte voor het nog te ontwikkelen proces (zie fig. 5.5) niet bijzonder groot is.

Verwerking elektronika

De hydrometallurgische verwerking heeft tot gevolg dat de hoeveelheid afval niet direct afneemt. Er is aangenomen dat ondanks procesmatige handelingen (slechts gericht op de winning van hoogwaardige metalen) de hoeveelheid afval nagenoeg constant blijft. Dit houdt in dat er geen sprake is van vermeden afvalverwerkingskosten. Daaruit volgt dat de opbrengsten aan metalen, f 4.870.000 - f 14.600.000 (zie tabel 5.11), de proceskosten dienen te compenseren. Bij hogere proceskosten (hetgeen nog nader onderzocht dient te worden) zal van deze procesoptie afgezien worden.

De mogelijkheid blijft open dat de elektronikafractie (eventueel tegen opbrengsten) direct bij de non-ferroverwerkende industrie afgezet wordt. Er is dan wel sprake van vermeden afvalverwerkingskosten. Residustromen kunnen dan echter bij de desbetreffende industrie ontstaan. Welke van de 2 opties economisch gezien het meest gunstig is, zal nader geverifieerd dienen te worden.

Resumerend kan gesteld worden dat afgezet tegen de huidige maatschappelijke kosten (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 een plaats te krijgen.

Dat deze optie niet direct bij voorbaat onhaalbaar is, tonen de volgende getallen aan. Hierbij is uitgegaan van een voorbereiding volgens situatie A (zie 5.7.2), minimale opbrengsten van metalen, kunststoffen en printplaten (elektronikafractie), minimale vermeden maatschappelijke afvalverwerkingskosten en geen aparte beeldbuizenopwerking.

89-021/R.22/C1/IVS

5-40

Opbrengsten

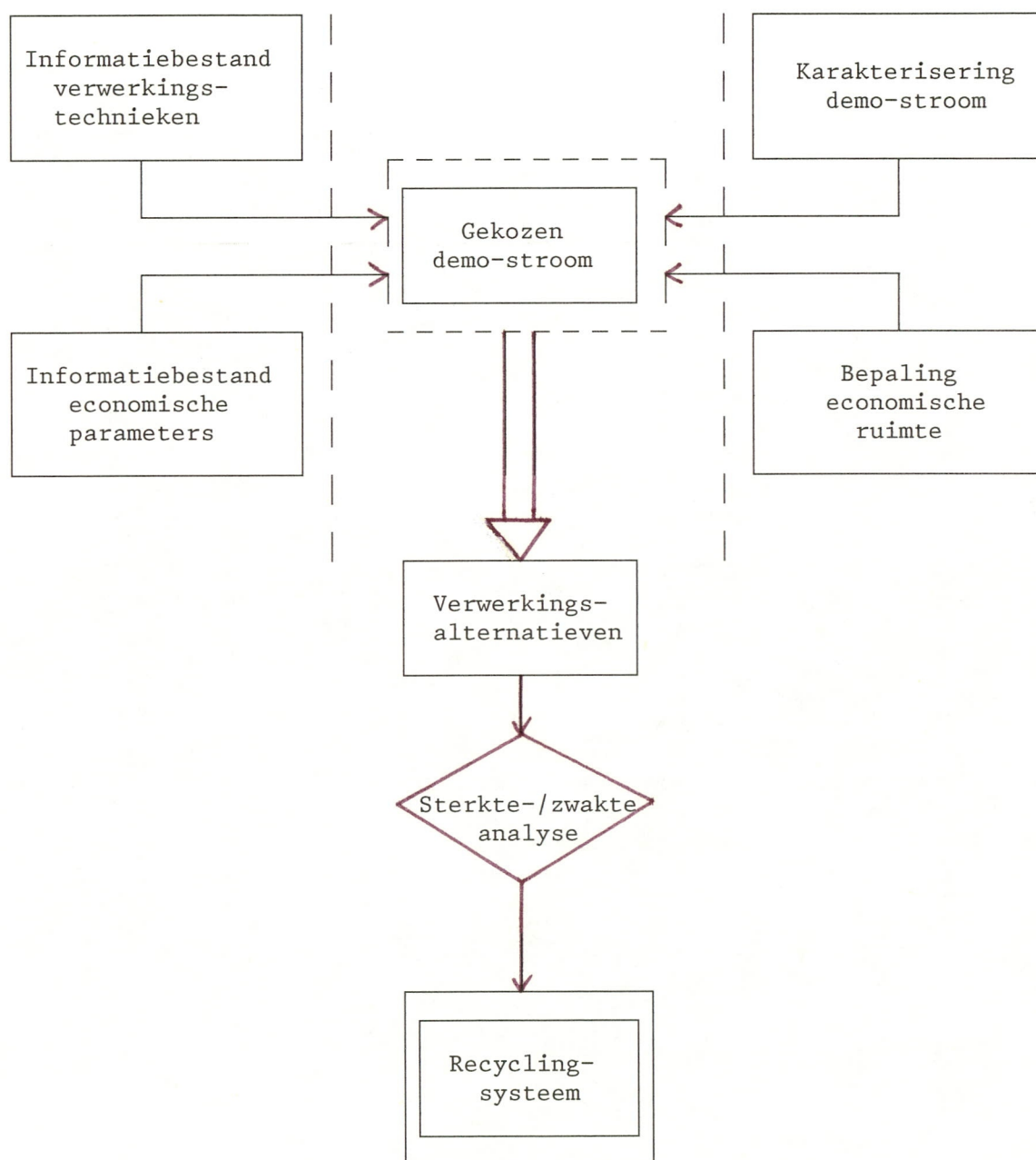
* Minimale vermeden afvalverwerkingskosten (verbranding in een niet-chemische afvaloven)	f 3.900.000
* Metalen, kunststoffen	f 3.131.000
* Elektronikafractie bij metaalindustrie (bijvoorbeeld Hoboken, België)	f 4.870.000
	f 11.901.000

Kosten

* Proceskosten (situatie A)	f 8.965.000
* Bestemming beeldbuizen (stort, aangezien het nagenoeg geen brandbare componenten bevat)	f 609.000
* Residustromen centrale voorbewerking	f 466.000
	f 10.040.000

6. EVALUATIE

Bij de opzet van een recyclingsysteem voor de verwerking van de gekozen demo-stromen "audio-/video-apparatuur" en "personal computers" is de systematiek, zoals hierna schematisch voorgesteld, gevolgd (zie hoofdstuk 2).



Deze demostromen zijn gekozen, omdat er geen naar tevredenheid werkende processen voor bestaan en de verwerking van complexe afgedankte apparaten geavanceerde recyclingtechnieken vereist.

Karakterisering geeft aan dat vele onderdelen, materialen (met name ferro, non-ferro's, kunststoffen en glas) en verbindingstechnieken te onderscheiden zijn in de demostromen.

De economische drijfveer om deze afvalstroom te verwerken wordt bepaald door het voorkomen van "bulk-non-ferro's" (koper, aluminium, enz.), hoogwaardige non-ferro's (goud, zilver, palladium, enz.) en enkele hoogwaardige kunststoffen (slagvast polystyreen, acrylonitrilbutadienestyreen, enz.). De milieuhygiënische drijfveer bestaat hieruit dat door hergebruik een potentieel chemisch afvalprobleem sterk gereduceerd kan worden.

Er kan gesteld worden dat de ontmanteling van complexe NFKC's (afschieden 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 grotere delen	Verwerken specifieke fracties
Audio-/video-apparatuur en personal computers		
Beeldbuizen Omkastingen Elektronikafractie	Restant na verwijderen beeldbuizen, omkastingen en elektronikafractie	Elektronikafractie bijvoorbeeld printplaten
door middel van	door middel van	door middel van
. selectief slopen, handmatig of deels geautomatiseerd (in de toekomst mogelijk gerobotiseerd)	. verkleiningstechnieken . magneetscheiding . droogmechanische technieken, zoals zeven, ziften en tril- tafeltechnieken en/of . drijf-zink-scheiding en/of . eddy current-scheiding	. verkleiningstechnieken . mogelijkserwijs pyrolyse of . droogmechanische technieken . oplossen . hydrometallurgische methoden

De 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 vernietigings-technieken anderzijds. Bovendien zal gestreefd worden naar het vermijden van milieubelastende, toxische afvallen, dus stofstromen met het predikaat "chemisch afval".

Het streven naar recycling 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 uitgaat naar die verwerkingstechnieken (c.q. processen), die naast het gericht zijn op hergebruik, een sterke afvalreductie geven.

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 mogelijkserwijs 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.

Vele van deze metalen komen voor in afgedankte complexe goederen (autowrakken, afgedankte koelkasten, wasmachines, tv's, microcomputers, etc.).

De huidige verwerkingswijzen geven een te groot reststoffenprobleem (residuen bij verbranding, uitloging van metalen bij storten, shredder-afval bij de huidige verwerking in shredderinstallaties, etc.).

Nieuwe (soms geavanceerde) technieken zullen toegevoegd moeten worden om de afgedankte complexer wordende gebruiksgoederen te verwerken. Daarbij zal een bepaalde inzet van handmatige sloop onontbeerlijk zijn. Door automatisering en hergebruiksvriendelijk ontwerpen van nieuwe op de markt komende apparaten kan de factor arbeid bij ontmantelingsprocessen in de toekomst teruggedrongen worden.

Volgens de hiervoor geschetste gedachtenlijn is het verwerkingssysteem voor audio-/video-apparatuur en personal computers opgezet.

Na een economische evaluatie van de 3 opgezette processen blijkt dat een centrale voorbewerking niet bij voorbaat als onhaalbaar gezien behoeft te worden. Nader onderzoek zal dienen aan te tonen of een aparte beeldbuizen- en printplatenopwerking technisch-economisch haalbaar is.

Indien meerdere afgedankte gebruiksgoederen (onder andere koelkasten, wasmachines, kopieerapparaten) procesmatig apart ingezameld en verwerkt gaan worden, kan eventueel de voorbewerking van meerdere apparatengroepen decentraal in Nederland plaatsvinden. 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 brengen van een voldoende grote hoeveelheid te ontmantelen apparatuur is momenteel nog problematisch. Een geschikte infrastructuur, gekoppeld aan een stelsel stimulerende maatregelen, zal ervoor dienen te zorgen, dat de bewuste apparatuur bij een daarvoor ingerichte recyclinginstallatie terechtkomt.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

* Van de gegroepeerde technieken zijn de volgende belangrijke aspecten op te merken:

. Verkleiningstechnieken.

- ≡ Het houdt veelal een voorbewerking in.
- ≡ De verkleining is vaak aselectief.
- ≡ Het energieverbruik is relatief hoog.

. Droogmechanische technieken.

- ≡ De technieken bewerkstelligen veelal een voorconcentrerend.
- ≡ Een opvallend voordeel is het lage kostenniveau.
- ≡ De procesvoering geschiedt zonder een afvalwaterprobleem.
- ≡ De technieken worden in belangrijke mate toegepast op bulkafvalstromen.

. Natmechanische technieken.

- ≡ Toepassingen indien droogmechanische technieken niet voldoen.
- ≡ De kosten zijn relatief laag.
- ≡ Er kan een afvalwaterprobleem resteren.
- ≡ Bij uitstek geschikt indien de afvalstoffen reeds vloeistoffen bevatten (zoals slib).

. (Elektro)magnetische en elektrostatische technieken.

- ≡ Toegepast voor de afscheiding van ferromagnetische metalen Fe, Co en Ni of legeringen ervan; metalen van niet-metalen; scheiding van non-ferro's onderling.
- ≡ Het zijn, behalve magneetscheiding, relatief dure technieken.
- ≡ De technieken worden ingezet bij de afscheiding van waardevolle metalen.
- ≡ De meeste technieken zijn nog in het ontwikkelingsstadium.

. Geavanceerde technieken (zoals sorteertechnieken, selectieve demontage).

- ≡ De afgescheiden fracties bezitten een hoge zuiverheid.
- ≡ Het zijn dure technieken.
- ≡ De procescapaciteiten zijn laag.

- ≡ De technieken bevinden zich veelal nog in het ontwikkelingsstadium.
- . Thermische technieken.
 - ≡ Pyrometallurgische technieken hebben zich bewezen bij non-ferro/non-ferro-scheiding; het zijn energie-intensieve processen.
 - ≡ Bij verbranden, vergassen, pyrolyse wordt de energie-inhoud van de kunststoffen benut;
 - ≡ Het zijn relatief dure processen, welke op grote schaal moeten worden toegepast.
- . Chemische en fysisch-chemische technieken.
 - ≡ Technieken worden toegepast bij de terugwinning van metalen in relatief lage concentraties.
 - ≡ De technieken zijn metaalspecifiek.
 - ≡ Het zijn relatief dure technieken.
 - ≡ De processen genereren afvalwaterstromen.
 - ≡ Sommige processen (zoals elektrolyse) zijn energie-intensief.
- * De economische ruimte voor in te zetten verwerkingsprocessen bedraagt:
Verwerkingskosten ≤ opbrengsten produkten + vermeden afvalverwerkingskosten - verwerkingskosten residuen.
De ruimte is dus het grootst, als:
 - 1) Een grote hoeveelheid produkten/materialen tegen een hoge prijs hergebruikt kan worden.
 - 2) Er vermeden wordt dat de betreffende verwerkte partijen als chemisch afval afgevoerd zouden moeten worden.
 - 3) Er weinig procesresiduen ontstaan, die dan alsnog tegen geringe kosten een eindbestemming vinden.
- * Vanwege het dynamische marktgebeuren, waarbij de afzet van diverse materialen onder voortdurende druk staat, kan de grootte van de economische ruimte voor het toepassen van specifieke recyclingprocessen voortdurend variëren. De marktgroottes en de opbrengsten van de diverse materialen zijn van grote betekenis voor de ruimte waarbinnen recyclinginitiatieven zich afspelen. Vanwege de geschetste voortdurende druk wordt er altijd gezocht naar diversiteit in de markt. Nieuwe toepassingen; andere hergebruiksmogelijkheden (bijvoorbeeld niet de

afzet als metaal, maar als metaalverbinding of legering) geven een recyclingindustrie, door de opzet van flexibele processen, de mogelijkheid om in te spelen op groeiende en krimpende markten.

- * De gehanteerde systematiek (zie hoofdstuk 2),
 - . karakterisering afvalstroom →
 - . bepaling economische ruimte →
 - . uitwerken verwerkingsalternatieven →
 - . maken sterkte-/zwakte-analyse →
 - . opzetten recyclingsysteem,is toegepast bij de opzet van recyclingsystemen voor de verwerking van personal computers en audio-/video-apparatuur en is een werkzame methodiek gebleken.
- * In de beginjaren negentig komt jaarlijks minimaal 30.000 ton afgedankte audio-/video-apparatuur en personal computers vrij. Deze stroom is als volgt onderverdeeld:
 - = beeldbuizen (inclusief afbuigspoelen): ca. 39 gew.%
 - = omkastingen: hout ca. 12 gew.%; kunststof ca. 9 gew.%; ferro ca. 6 gew.%; aluminium < 1 gew.%.
 - = dragermaterialen: kunststoffen ca. 4 gew.%; ferro ca. 6 gew.%; aluminium ca. 3 gew.%.
 - = printplaten: ca. 12 gew.%.
 - = overige elektronika: ca. 9 gew.%.
- * De afgedankte stroom audio-/video-apparatuur en personal computers kan in globale zin als volgt gekarakteriseerd 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 hout 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.
 - . Omkastingen van kunststof bestaan voor een belangrijk deel uit slagvast polystyreen. Daarnaast wordt ABS (acrylonitrilbutadienstyreen) of PC (polycarbonaat) toegepast.
 - . 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 elektronikacomponenten) 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; kabelmaterialen; printplaten; trafo's.
 - . Belangrijke toegepaste verbindingvormen zijn: Schroef-, las-, soldeer-, lijm-, klemverbindingen.
- * Aangezien nagenoeg alle mogelijke toepasbare verbindingvormen in elektronische apparatuur voorkomen, is er niet direct een relatie te leggen tussen deze vormen en de toe te passen verwerkingstechnieken.

- * Het beleid van de nationale overheid is gericht op minimalisering van de hoeveelheid te storten afvallen en maximalisering van het hergebruik. Vanuit deze optiek zijn de verwerkingsprocessen voor afgedankte audio-/video-apparaten en personal computers opgezet.
- * Er is aangenomen dat de afgedankte apparatuur op een centrale plaats bij elkaar komt in Nederland. Het totale systeem is opgebouwd gezien uit een drietal processen: Voorbewerking, beeldbuizenverwerking, printplatenverwerking (of ruimer gezien verwerking elektronika-afval).
 - . De voorbewerking houdt als eerste stap een, door geavanceerd gereedschap ondersteunde, handmatige ontmanteling in. Beeldbuizen, omkastingen en de belangrijkste printplaten worden selectief verwijderd. Na verkleiningsstappen worden uit de residustroom door middel van achtereenvolgens magneet- en eddy-currentscheiding metalen afgescheiden. De produkten zijn hout, kunststoffen, ferro, aluminium en koper. Selectieve sloop vooraf is noodzakelijk geacht om de afscheiding van inferieure stromen te voorkomen.
 - . De beeldbuizen worden overdwars op een geavanceerde wijze "doorgesneden" (met een waterstraal onder hoge druk of eventueel laser). De milieubelastende luminescerende laag kan daardoor selectief verwijderd worden. Na verkleining, magneetscheiding, eddy-currentscheiding en drijf/zinktechnieken worden glasfracties en metalen afgescheiden. De produkten zijn glas, ferro en koper.
 - . De elektronika-afval-opwerking bestaat uit pyrometallurgische en hydrometallurgische stappen. Onder reducerende procescondities (pyrolyse) worden de kunststoffen afgebroken en afgescheiden. De belangrijkste afgescheiden metalen zijn lood, tin, koper, goud, zilver, palladium.
- * In de voorbewerking zijn de personele kosten dominant. De opbrengsten van de afgescheiden materialen (ferro, kunststoffen, aluminium, koper) zullen samen met de vermeden afvalverwerkingskosten deze hoge personele inzet economisch haalbaar dienen te maken.
- * De opbrengsten aan glas, ferro en koper versus de vermeden afvalverwerkingskosten zullen de aparte beeldbuizenopwerking op economische gronden dienen te rechtvaardigen.

- * Een aparte verwerking van de printplatenfracties wordt gebaseerd op de intrinsieke metaalwaarden ervan. Volgens het onderzoek varieert deze tussen de f 2000 en f 6000 per ton.
- * Indien geen procesmatige verwerking plaatsvindt (de stroom afgedankte elektronische apparatuur wordt verbrand of gestort) worden de maatschappelijke kosten geschat tussen f 3.900.000 en f 9.400.000 per jaar. Vooropgesteld dat een inzamelstructuur aanwezig is en de apparatuur centraal verwerkt wordt, kan geconcludeerd worden dat centrale verwerking niet bij voorbaat onhaalbaar is. Voorbewerking, geen centrale beeldbuizenverwerking en directe afzet van de printplatenfractie naar de metaalverwerkende industrie geeft het volgende beeld:
 - . Opbrengsten materialen/fracties + vermeden afvalverwerkingskosten: f 11.900.000.
 - . Proceskosten + kosten afvoer residufracties: f 10.000.000.
- * 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. Deze technieken zijn in de toekomst zeker broodnodig om de reststoffenproblematiek tot een minimum te beperken.
- * Indien meerdere afgedankte gebruiksgoederen (onder andere koelkasten, wasmachines, kopieerapparaten) procesmatig apart ingezameld en verwerkt gaan worden, kan eventueel de voorbewerking van meerdere apparatengroepen decentraal in Nederland plaatsvinden. Bij een meer decentraal gerichte aanpak kan op transportkosten bespaard worden.
- * De zwakke schakel in het geheel blijft de ontbrekende, op afgedankte apparatuur gerichte, inzamelstructuur. Het op één locatie bij elkaar brengen van een voldoende grote hoeveelheid te ontmantelen apparatuur is momenteel nog problematisch. Een geschikte infrastructuur, gekoppeld aan een stelsel stimulerende maatregelen, zal ervoor dienen te zorgen, dat de bewuste apparatuur bij een daarvoor ingerichte recyclinginstallatie terechtkomt.

7.2 Aanbevelingen

- * De gehanteerde systematiek kan voor andere afgedankte complexe goederen (bijvoorbeeld koelkasten) toegepast worden:
 - . Karakterisering afvalstroom →
 - . Bepaling economische ruimte →
 - . Uitwerken verwerkingsalternatieven →
 - . Maken sterkte-/zwakte-analyse →
 - . Opzet recyclingsysteem.
- * Praktisch onderzoek dient uitgevoerd te worden om te bepalen of de voorgestelde voorverwerking inderdaad technisch-economisch haalbaar is. Zo'n praktische proef houdt in dat door middel van de verwerking van een grote hoeveelheid afgedankte apparatuur de gedane aannamen (onder andere de ontmantelingstijden van enige grotere onderdelen door middel van handmatige sloop) geverifieerd worden.
- * Met als doel besparing op transportkosten zou nader onderzocht kunnen worden of de voorbewerking decentraal kan plaatsvinden. Dit wordt eerder haalbaar als meerdere apparaten op dezelfde locatie verwerkt kunnen worden.
- * De ontwikkeling en opzet van parallel werkende "low cost"-ontmantelingsprocessen (inclusief (droog)mechanische technieken) past in het verlengde hiervan. In eerste instantie zal daarbij handmatige sloop onontbeerlijk zijn. Deze procesmatige stap is echter aan steeds verdergaande automatisering onderhevig.
- * Nader onderzoek zal dienen uit te wijzen of een geavanceerde beeldbuisopwerking (inclusief het overdwars "doorsnijden") praktisch haalbaar is. Zo'n procesroute zal geautomatiseerd dienen te zijn om de proceskosten te drukken.

- * 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 gaat 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.
- * 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).
- * De verbetering van inzamel- en verwerkingsstructuren vereist een organisatorische benadering vanuit de technologische mogelijkheden. Enerzijds zullen hergebruikstechnieken en anderzijds vernietigingsstechnieken ingezet worden om de groeiende afgedankte apparatuurstroom integraal te kunnen verwerken. Onderzoek zal dienen aan te tonen hoe de "infrastructurele" kosten (inzamel-, opslag-, overslag- en transportkosten) geminimaliseerd kunnen worden.

89-021/R.22/C1/IVS

8-1

8. LITERATUUR

- [1] Recycling, juni/juli 1988, p. 39.
- [2] Chemical Marketing Reporter, mei 1988.
- [3] A. Ansems.
Zware metalen, afkomstig van elektrotechnische en elektronische apparatuur.
TNO, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie, rapport nr. 86-297, Apeldoorn, december 1986.
- [4] Scheiding en recycling van non-ferrometaal/kunststofcombinaties, deelonderzoek: Inventarisering en karakterisering.
Universiteit van Amsterdam, Interfacultaire Vakgroep Milieukunde, Tussenrapport, augustus 1988.
- [5] PEDCO Environmental Inc.
Industrial Process Profiles for Environmental Use: Chapter 30.
The Elektronik Component Manufacturing Industry.
NTIS-report PB 83-199190, 1983.
- [6] T.A. Sullivan et al.
Recovery of Alumina, Base and Precious Metals from Electronic Scrap.
Bureau of Mines (1972), RI-7617.
- [7] B.W. Dunning et al.
Distribution and Analysis of Gold and Silver in Mechanically Processed Mixed Electronic Scrap.
Bureau of Mines (1983), RI-8788.
- [8] R.O. Dannenberg et al.
Recovery of Precious metals from Electronic Scrap.
Bureau of Mines (1973), RI-7683.
- [9] S.C. Mathotra.
Trends and opportunities in Electronic Scrap Reclamation.
Conservation & Recycling, vol 8 (4), 1985, p. 327.

89-021/R.22/C1/IVS

8-2

[10] Hidetoshi Baba.

An efficient recovery of gold and other noble metals from electronic and other scraps.

Conservation & Recycling, vol 10 (4), 1987, p. 247.

[12] Verwertung von Computerschrott; Eine Pyrolyse, die sich rechnet.

Entsorga, 4/1987, S. 30.

[13] Metaalscheidingstechnieken.

Recycling, april/mei 1988, p. 161.

[14] Haskoning.

Vooronderzoek voor een innovatiegericht onderzoekprogramma op het gebied van recycling en hergebruik van nonferrometalen, Nijmegen, april 1986, p. 15.

[15] Profiel van MHO en SGM.

Recycling, oktober/november 1987, p. 149.

[16] Zeldzame aarden;

Chemisch Magazine, mei 1987, p. 295.

[17] M. v.d. Hoven.

Oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden tot terugwinning van grondstoffen uit elektronische apparatuur.

TNO, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie, Apeldoorn, rapport ref.nr. 79-06963, juli 1979.

[18] Webci prijzenboekje, 1988.

[19] Notitie inzake preventie en hergebruik van afvalstoffen.

Ministerie van Volkshuisvestering, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Economische Zaken, Ministerie van Landbouw en Visserij, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage, oktober 1988.

89-021/R.22/C1/IVS

9-1

9. VERANTWOORDING

- Naam en adres van de opdrachtgever:

Ministerie van Economische Zaken
Directie Proces en Lichte Industrie
Bezuidenhoutseweg 30
's-Gravenhage

- Namen en functies van de medewerkers:

Ir. A. Ansems	-
F. Esmeyer	-
Ir. H. Luggenhorst	-
Ir. J. v.d. Steen	-

- Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

- Datum waarop, of tijdbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

1 februari 1988 tot en met 31 maart 1989.

- Ondertekening:



Ir. A. Ansems
Onderzoekleider

Goedgekeurd door:



Ir. C.L. van Deelen
Werkgroep leider
"Afvalstoffenverwerking"

88-276/R.22/IVS

bijlage I-1

BIJLAGE I: VERKLEININGSTECHNIEKEN

Voordat mengsels van kunststoffen en non-ferro's kunnen worden gescheiden, worden de materialen veelal voorverkleind. Dit geschiedt bijvoorbeeld bij de verwerking van: autowrakken en elektronisch afval.

Voor het verkleinen is een groot scala aan apparatuur beschikbaar. In het kader van het verkleinen van kunststof/non-ferro mengsels worden de volgende apparaten toegepast:

* Hamermolens/shredders

Verkleining vindt plaats door hamers die draaibaar aan een as zijn bevestigd en die onder invloed van de centrifugale kracht zich loodrecht op de as richten. Het materiaal wordt gedeeltelijk door het slaan van de hamers en gedeeltelijk door botsing tegen de molenwand stukgeslagen.

De bodem van de maalkamer van een hamermolen is voorzien van een rooster waar, na voldoende verkleining, het materiaal doorvalt (zie fig. 1). Een shredder heeft geen rooster (zie fig. 2).

De economische aspecten verbonden aan het verkleinen van bijvoorbeeld elektronisch afval zijn als volgt:

- . Investeringskosten ca. f 200.000 voor capaciteiten tot ca. 1 ton/uur en ca. f 500.000 voor capaciteiten tot ca. 5 ton/uur.
- . De kosten voor het verkleinen bedragen dan globaal f 25,- tot f 50,-/ton.

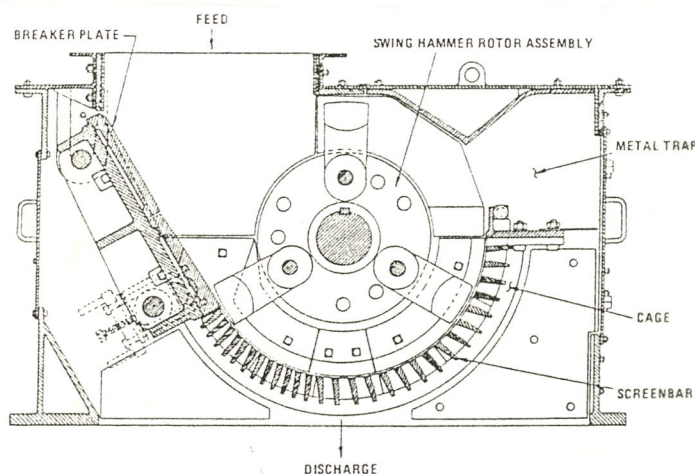


Fig. 1 Hamermolen

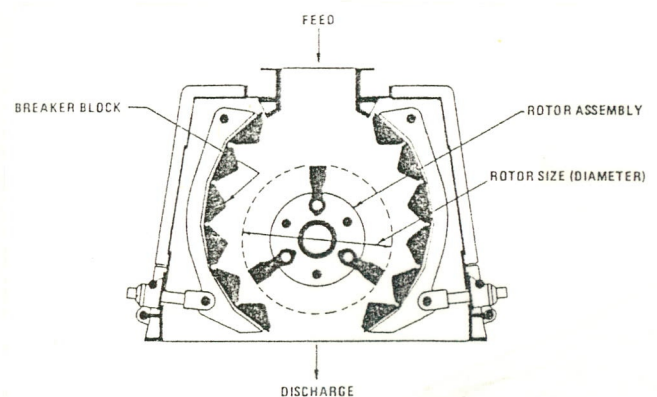


Fig. 2 Shredder

88-276/R.22/IVS

bijlage I-2

* Snijmolens

Verkleining vindt plaats doordat op twee assen gemonteerde schijven met meenemers, die tegen elkaar indraaien, een snijdende werking op het te verkleinen materiaal uitoefenen (zie fig. 3).

De bodem van de snijmolen kan voorzien worden van een rooster, waarvan de grootte van de openingen de deeltjesgrootte van het verkleiningsproduct bepalen.



Maalwerk

Fig. 3 Snijmolens

De economische aspecten, verbonden aan het verkleinen van bijvoorbeeld elektronisch afval zijn als volgt:

- . Investeringsen ca. f 75.000 voor capaciteiten tot ca. 500 kg/h en ca. f250.000 voor capaciteiten tot ca. 2,5 ton/h.
- . De kosten voor het verkleinen bedragen globaal f 10,- tot f 25,- per ton.

* Andere verkleiningsapparaten

Voor specifieke doeleinden, zoals het verkleinen van bepaalde soorten kunststoffen, zijn verkleiningsapparaten ontwikkeld die qua uitvoering en werkwijze op het produkt zijn afgestemd of aangepast.

Een beschrijving hiervan valt buiten de scope van dit onderzoek.

* Koud malen

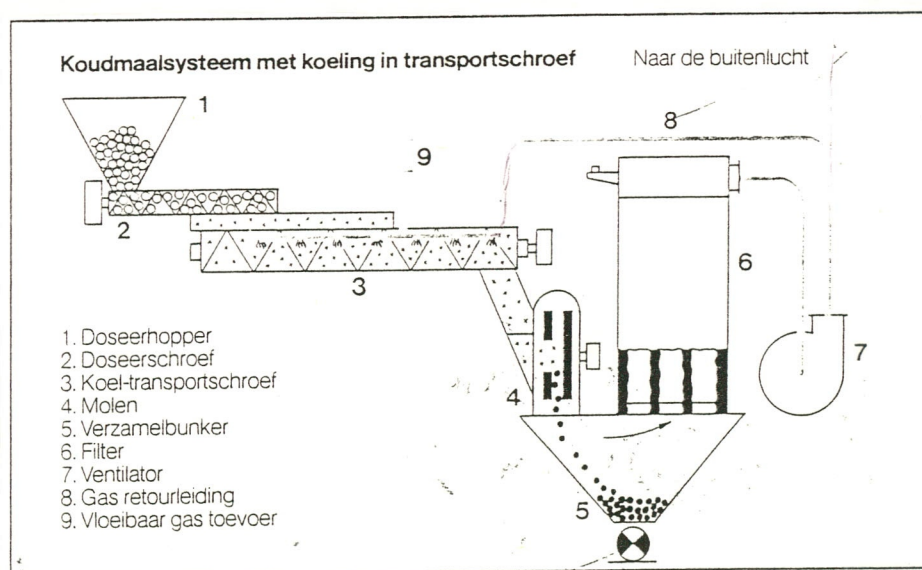
Koud malen of cryogrinding is een proces waarbij materialen verkleind worden die eerst door met name vloeibare stikstof tot zeer lage temperatuur zijn afgekoeld.

De toegenomen brosheid van het materiaal bij lage temperatuur verhoogt het molenrendement.

Wat betreft de verkleining van NFKC's kan deze methode de volgende voordelen bieden:

- gemakkelijk verkleinen van thermoplastische kunststoffen, rubber, enz.
- geen verdamping van toxische metalen (of metaalverbindingen), zoals kwik.
- in sommige gevallen vindt een selectieve verkleining plaats waarbij het ene materiaal verder wordt verkleind dan het ander materiaal.

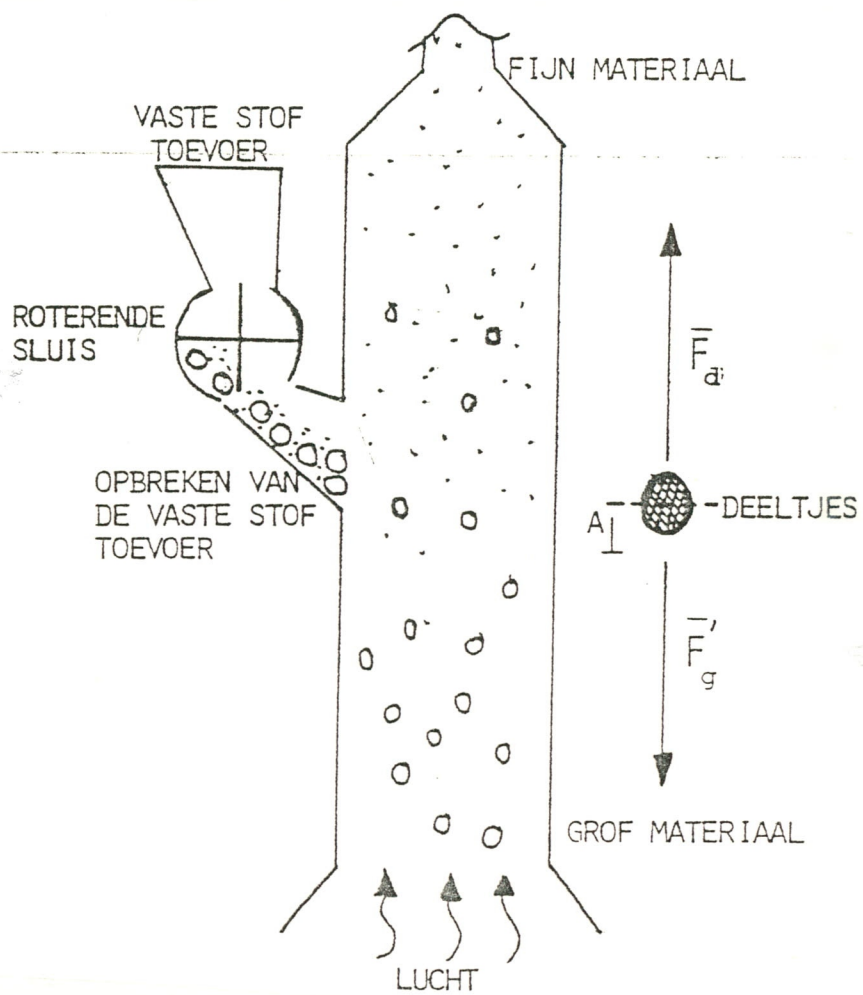
Nadelen van deze verkleiningsmethoden zijn onder meer de hogere vermalingskosten (globaal f 100,- à f 500,-/ton) en de extra benodigde geïsoleerde mengkamer. Een voorbeeld van een systeem is in figuur 4 gegeven.



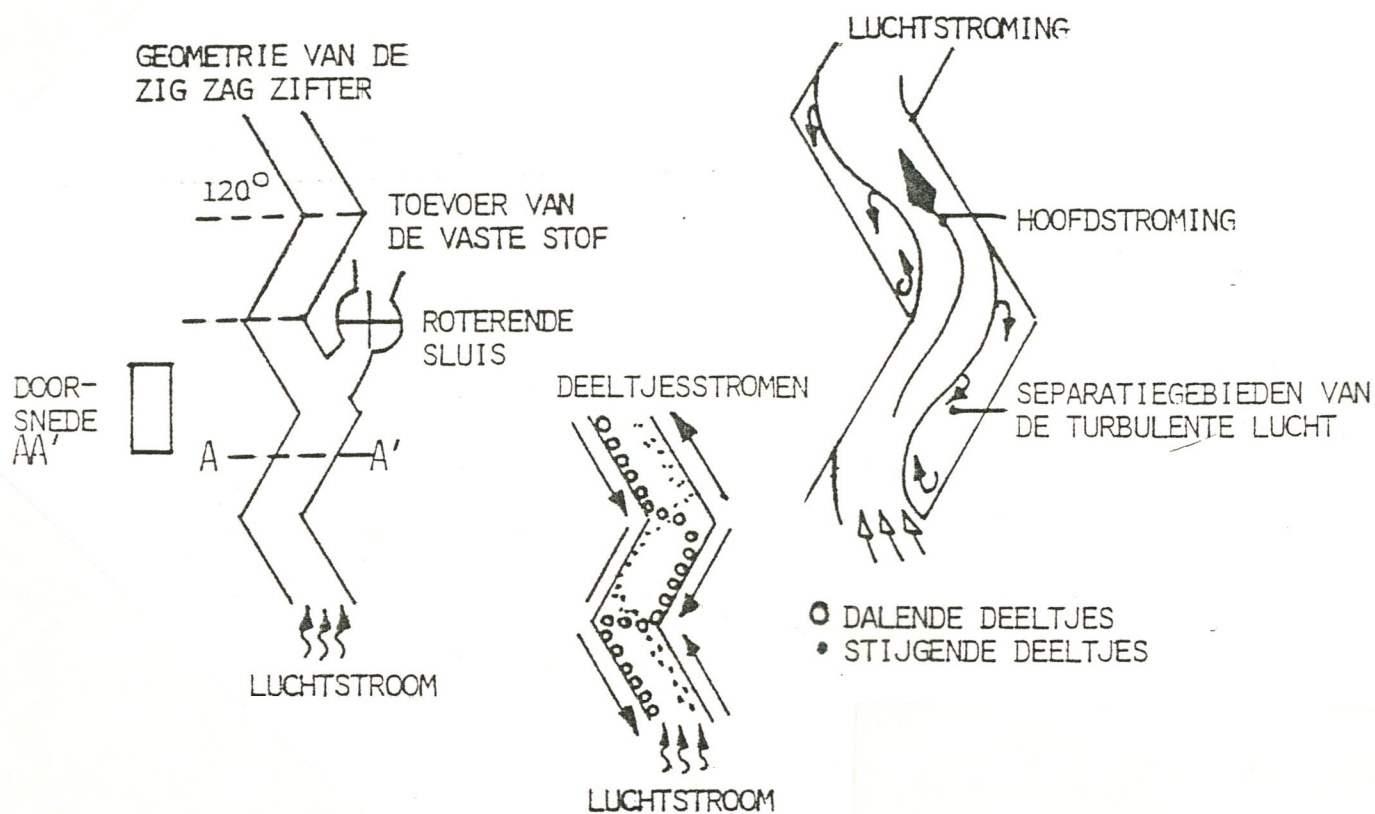
Figuur 4 Cryogeen verkleiningssysteem

Literatuur

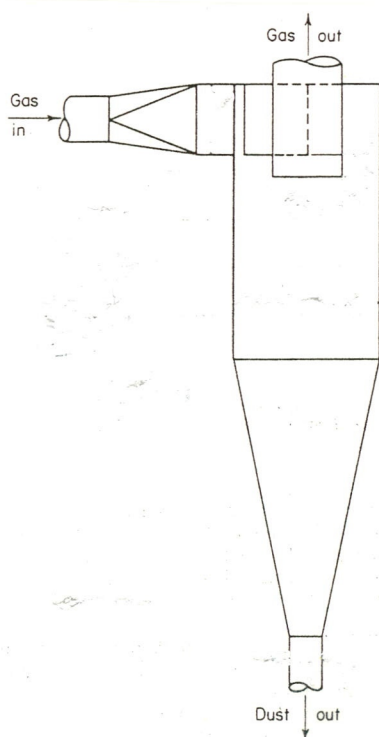
- Perry's Chemical Engineers' Handbook
- Monografie "Gascyclonen", TNO, W. Engelhard.
- Informatie map van de Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek, Voordracht 12 "Basisprincipes van het gecombineerd toepassen van verschillende scheidingsmethoden in huisvuilscheidingsinstallaties", M.M.G. Senden.
- Artikel: "Sortieren auf Geraten mit schwingenden Boden", Abfalltechnik, H.R. Hupe.
- Artikel: "Scheiding van nonferro metalen, nat of droog, of op 't oog?", Recycling juni/juli 1986.
- Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology



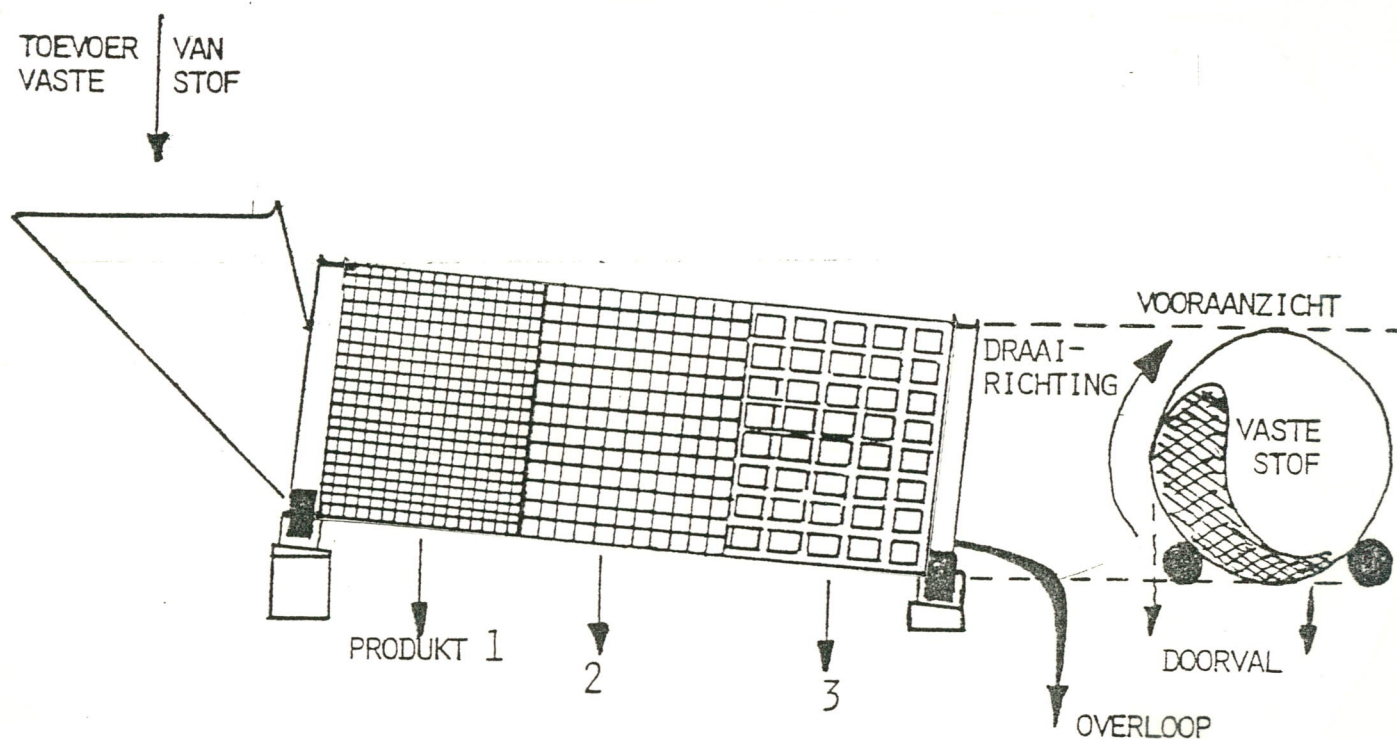
Figuur 1: Schematische weergave van een rechte stijgzifter



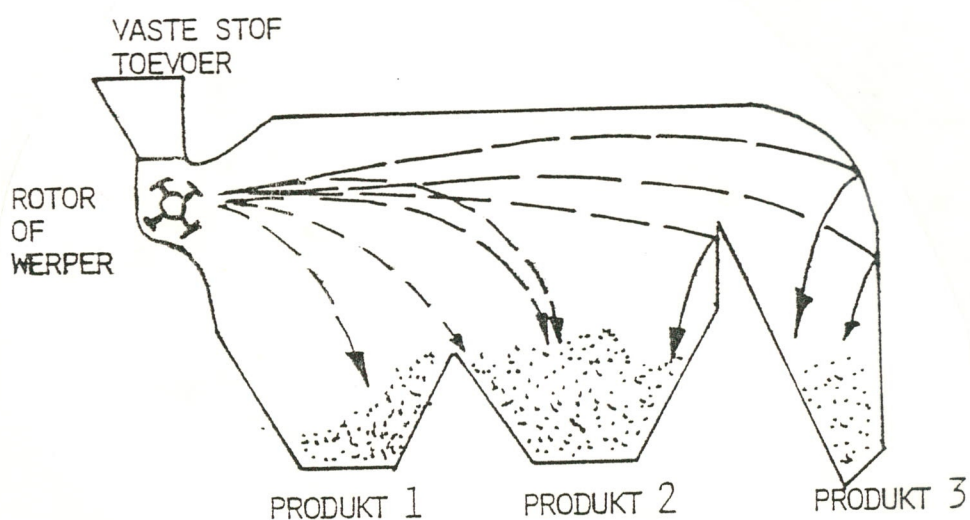
Figuur 2: Geometrie van de zig zag zifter, de luchtstroming en de deeltjesstroming



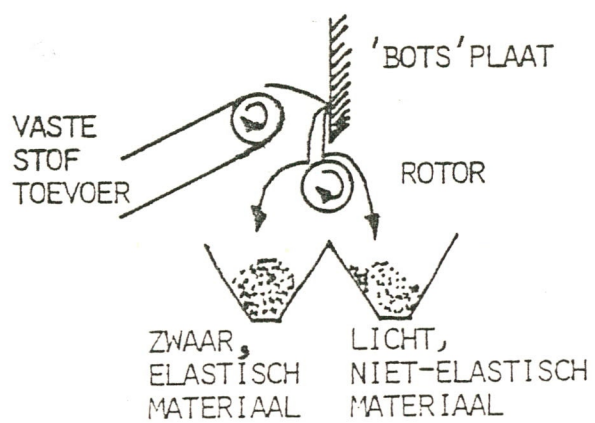
Figuur 3: Gascycloon



Figuur 4: Schematische weergave van een roterende trommel-zeef met drie secties



Figuur 5: Schematische voorstelling van een ballistische scheider



Figuur 6: Schematische voorstelling van een secator

Bijlage III: Nat mechanische technieken

Deze groep omvat ondermeer de volgende technieken:

1. Flotatie
2. Drijf-zink technieken (waaronder de "zware vloeistoffen")
3. Drijf-zink technieken met magnetische vloeistoffen
4. Hydrocyclonage
5. Jiggen
6. Nat zeven

In het navolgende zal een inventarisatie van bovengenoemde beschikbare scheidingstechnieken plaatsvinden. Hierbij wordt van de volgende, te scheiden, combinaties van afvalstromen uitgegaan:

- Nonferro metaal/Kunststof (NF/K)
- Kunststof/Kunststof (K/K)
- Nonferro metaal/Nonferro metaal (NF/NF)

1. Op welke soort afvallen/stromen zijn deze technieken van toepassing ?

Evenals de, in bijlage II behandelde, droog mechanische technieken zullen de nat mechanische technieken meer een concentratie van verschillende fracties dan een definitieve scheiding teweeg brengen. Deze concentratie vindt veelal plaats nadat eerst een voorbewerking, zoals verkleinen, heeft plaatsgevonden. Na concentratie kan vervolgens een proces worden uitgevoerd, die een zuivere scheiding oplevert.

2. Het doel/werkingsprincipe van iedere techniek

De technieken berusten op het principe dat het mogelijk is vaste deeltjes uit een mengsel van vaste deeltjes en vloeistof te scheiden op grond van verschillen in deeltjesgrootte en/of dichtheid. Over het algemeen resulteert de scheiding in een zware en een lichte fractie of een grove en een fijne fractie.

Flotatie

Deze scheidingsmethode van vaste deeltjes is gebaseerd op de selectieve adsorptie of aanhechting van materiaal aan het oppervlak van gasbellen, die door een oplossing of een suspensie worden gevoerd. Zo zal een deeltje dat aan gasbellen wordt geadsorbeerd naar de vloeistofspiegel worden getransporteerd.

Drijf-zink technieken

Deze techniek wordt toegepast om vaste deeltjes te scheiden op basis van verschillen in dichtheid. De te scheiden deeltjes worden ondergedompeld in een vloeistof, die een dichtheid heeft, die ligt tussen die van de te scheiden componenten, zodat een scheiding kan worden bewerkstelligd.

Magnetische vloeistoffen

Zie doel/werkingsprincipe van de "Drijf-zink technieken". Het verschil met de drijf-zink technieken is dat, in plaats van water, zoutoplossingen of organische vloeistoffen, gebruik wordt gemaakt van magnetische vloeistoffen.

Hydrocyclonage

Het afscheiden van vaste deeltjes uit een vloeistof op basis van verschillen in dichtheid en grootte door middel van een centrifugaalkracht, die door de deeltjesstroom zelf wordt opgewekt in een wervel.

Jiggen

Het scheiden van vaste deeltjes op grond van verschillen in dichtheid; de scheiding kan worden bewerkstelligd door een verticale pulserende vloeistofstroom door een materialenmengsel te voeren.

In feite is jiggen een drijf-zink techniek waaraan een extra mechanische beweging (het pulseren van de vloeistofstroom) is toegevoegd.

Nat zeven

Het scheiden van, in een vloeistofstroom aanwezige, vaste deeltjes naar grootte en vorm. De redenen om nat zeven te verkiezen boven droog zeven kunnen zijn: De te zeven afvalstroom is reeds nat, de zeping verloopt nat beter dan droog.

3. De typen af te scheiden materialen

In principe zijn alle in deze groep genoemde technieken geschikt voor het scheiden van nonferro metalen, kunststoffen of combinaties van de twee, waarbij soms vereist wordt dat de mengsels de juiste voorbereidingen hebben ondergaan.

Zoals onder punt 1 reeds is aangegeven, zullen deze technieken in de praktijk eerder een concentratie van fracties dan een definitieve scheiding teweeg brengen.

4. Korte beschrijving van de technieken

Flotatie

Het flotatie proces is gebaseerd op de affiniteit van het oppervlak van een materiaal voor adsorptie aan een gasbel. Vaste deeltjes worden gesuspendeerd in water, waarna gasbelletjes door de gemengde suspensie worden gedispergeerd en zich vervolgens hechten aan de vaste deeltjes. Door de verandering van de soortelijke massa stijgen de deeltjes naar het vloeistofoppervlak.

Indien de oppervlakken van de te scheiden materialen van nature ongeschikt zijn voor adsorptie aan gasbellen kan soms selectieve flotatie, door het gebruik van geschikte chemicaliën, mogelijk worden gemaakt; de fysische omstandigheden wijzigen zich zodanig dat een van de te scheiden stoffen een vast contact met gasbellen aangaat. Vervolgens zal het deeltje door de gasbellen mee naar het vloeistofoppervlak worden getransporteerd. De overige, hydrofiele, deeltjes blijven in de vloeistoffase achter.

Een schematische weergave van een flotatie cel is te zien in figuur 1.

Drijf-zink technieken

Drijf-zink technieken zijn gebaseerd op de scheiding van materialen op grond van verschillen in dichtheid.

De te scheiden vaste stoffen worden in een vloeistof, waarvan de dichtheid op grond van de dichtheden van de te scheiden componenten wordt gekozen, gebracht.

Componenten, die een dichtheid hebben hoger dan die van het medium, zullen bezinken, terwijl de componenten, die een dichtheid hebben, lager dan die van het medium, naar het vloeistofoppervlak zullen stijgen.

Aangezien water en diverse zoutoplossingen dichtheden hebben, die niet toereikend zijn voor de scheidingen van bijvoorbeeld metalen en diverse kunststoffen, zijn zware organische vloeistoffen op de markt gekomen. In figuur 2 is een drijf-zink cel weergegeven, waarin het vaste stof mengsel in twee fracties wordt gescheiden; de bezonken fractie wordt met behulp van een pomp verwijderd.

Drijf-zink technieken met magnetische vloeistoffen

Het werkingsprincipe is identiek aan dat van bovenstaande drijf-zink technieken. Het nadeel van de voorgaande technieken is dat de zware vloeistoffen alleen in een gelimiteerde range van dichtheden kunnen worden geproduceerd.

Door gebruik te maken van magnetische vloeistoffen kan een schijnbare dichtheid zodanig worden gevarieerd, dat sommige nonferro metalen op deze manier kunnen worden afgescheiden. Deze magnetische vloeistoffen zijn waterige oplossingen van ferro-silicium of magnetiet.

In figuur 3 is een drijf-zink cel op basis van magnetische vloeistoffen weergegeven; bestanddelen lichter dan de schijnbare dichtheid van het medium komen bovendrijven en kunnen worden gewonnen. Evenzo kan de bezonken zware fractie worden gewonnen.

Hydrocyclonage

Het scheidingsprincipe berust op het gedrag van deeltjes, afhankelijk van hun dichtheid en grootte, in een centrifugaalveld.

Door de centrifugale krachten, veroorzaakt door de tangentiële stroming in een hydrocycloon, worden deeltjes, met een dichtheid hoger dan die van het medium, naar de buitenwand van de cycloon en bovendien langs deze wand naar beneden getransporteerd.

Bij deze techniek moet rekening worden gehouden met het feit dat kleine deeltjes met een hoge dichtheid het zelfde gedrag kunnen vertonen als grotere deeltjes met een lagere dichtheid.

De vloeistoffen, die voor hydrocyclonage worden gebruikt, kunnen naast water ook zwaardere vloeistoffen als zoutoplossingen en organische vloeistoffen zijn.

In figuur 4 is een schematische weergave van een cycloon te zien.

Jiggen

Het principe van jiggen berust op het scheiden van vaste stof deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. In een conventionele jig wordt een pulserende vloeistofstroom door een bed van materialen gestuurd; de zware materialen (hoge dichtheid) zullen zich naar de bodem van het bed bewegen, terwijl de lichte (lage dichtheid) zich juist bovenin zullen verzamelen. Het materialenmengsel zal zich aldus in twee of meer lagen scheiden.

Naast het conventionele jiggen bestaan er ook magnetische jig-technieken.

Bij magnetohydrodynamisch (MHD) jiggen wordt een mengsel van vaste deeltjes, ten gevolge van een periodieke elektromagnetische kracht, blootgesteld aan een oscillerende beweging in een electrolytisch bad.

Door deze periodieke jig-beweging wordt het mengsel van vaste deeltjes op grond van verschillen in dichtheid in lagen verdeeld (figuur 5).

Magnetohydrostatisch (MHS) jiggen is een tweede magnetische jig-techniek, waarbij een mengsel van vaste deeltjes gescheiden wordt op grond van verschillen in dichtheid in een magnetisch veld.

Deze scheidingsmethode is gebaseerd op de interactie van een magnetische vloeistof (oplossing of suspensie) en een niet-homogeen magnetisch veld. Door een juiste keuze van de verdeling van het magnetisch veld kunnen zodanige technologische omstandigheden worden verkregen dat een mengsel in een stap in verschillende fracties kan worden gescheiden.

Nat zeven

Nat zeven is een techniek, waarbij de vaste fase, aanwezig in een vloeistofstroom, wordt gescheiden naar grootte en vorm. Deeltjes met een grootte kleiner dan de maaswijdte van de zeef gaan door de openingen, terwijl deeltjes met afmetingen groter dan de maaswijdte hierop achterblijven.

Een reden om nat zeven te verkiezen boven droog zeven kan zijn dat de te verwerken afvalstroom reeds nat is; het is onvoordelig om eerst een droog-stap uit te voeren. Een tweede reden kan zijn dat er een betere zeping plaatsvindt. Een derde reden is dat de deeltjes dermate klein zijn (kleiner dan 100 micron) dat droog zeven onmogelijk is.

Bij de behandeling van de droog-zeeftechnieken (zie Bijlage II) is reeds aangegeven dat er een grote verscheidenheid aan zeven bestaat.

5. Ontwikkelingsstadium

Alle in deze groep genoemde technieken worden reeds, zij het vaak in een geheel andere tak van de industrie (zie ook punt 7), op produktieschaal toegepast.

Voor zover bekend verkeren de drijf-zink technieken met magnetische vloeistoffen en de MHD en MHS jig-technieken nog in een experimenteel stadium.

6. Technologische randvoorwaarden en rendement

Voor alle technieken geldt dat er mogelijkserwijs een of meerdere voorbereidingsstappen nodig zijn om ervoor te zorgen dat de vaste deeltjes los van elkaar zijn.

Verder gelden voor de afzonderlijke technieken de volgende randvoorwaarden:

- De deeltjesgrootte en -verdeling en vorm: Alle technieken.
- De dichtheid van het medium: Alle technieken (m.u.v. nat zeven).
- De verschillen in dichtheid van de te scheiden componenten:

Drijf-zink, magnetische vloeistoffen, hydrocyclonage en jiggen.

- Concentratie vaste stof in de vloeistoffen: Flotatie (max. 30 gew.%), hydrocyclonage (max. 25 gew.%).
- Voor het floteren van componenten dienen geschikte chemicalien te worden gevonden om de oppervlakte eigenschappen van een van de te scheiden componenten zo te wijzigen dat er adsorptie van gasbellen mogelijk is.
- De luchtverdeling door een flotatiecel.
- Voor het hydrocycloneren is een bepaalde druk van de voeding vereist; deze druk is afhankelijk van het type cycloon en maximaal rond $3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$.
- Voor nat zeven geldt dat alle vaste deeltjes de kans dienen te krijgen om in contact te komen met het zeefoppervlak.

Rendement:

Voor alle technieken zijn voor specifieke toepassingen rendementen gevonden, die variëren tussen 80 en 90 %, hetgeen betekent dat de verkregen fracties "verontreinigd" zijn met deeltjes, die in het geval van een volledige scheiding in een andere fractie terecht zouden zijn gekomen.

7. Toepassingsgebieden

De nat mechanische technieken worden voor tal van scheidingsdoeleinden gebruikt; hieronder worden per techniek een aantal toepassingen gegeven.

Flotatie

Flotatie wordt onder andere toegepast voor het scheiden van kunststoffen, het scheiden van mineralen, het ontinkten van papier, het verwijderen van olie of organische verontreinigingen van water of waterige oplossingen.

Drijf-zink technieken

Toepassingsgebieden van drijf-zink technieken zijn onder andere: Het winnen en scheiden van nonferro's uit shredder afval en het scheiden van kunststoffen uit mengsels.

Magnetische vloeistoffen

Door de te bereiken hoge dichtheden (10 kg/dm^3) kunnen nonferro metalen onderling uitstekend worden gescheiden; voor zover bekend wordt deze techniek (nog) niet grootschalig toegepast.

Hydrocyclonage

Toepassingsgebieden voor hydrocyclonage zijn: Scheiden van kunststofmengsels, scheiden van nonferro metalen (water of zware vloeistoffen), zandwinning, opwerken van klei, voedingsmiddelen- en procesindustrie, afscheiden van verontreinigingen in de papierindustrie.

Jiggen

Jiggen wordt toegepast voor het scheiden van nonferro metalen, het scheiden van kunststofmengsels en het scheiden van mineralen. Voor zover bekend worden de MHD en MHS jig-technieken (nog) niet groot-

schalig toegepast.

Nat zeven

Toepassingen van nat zeven vinden op velerlei combinaties van stoffen plaats.

8. Resterende afvalproblematiek

De resterende afvalproblematiek van de hier te behandelen afvalstromen is afhankelijk van de hoedanigheid van de te verwerken stromen. Indien bijvoorbeeld uit een mengsel van (meer dan twee) nonferro metalen een van de metalen met behulp van een bepaalde scheidingstechniek wordt afgescheiden, blijft er een mengsel van nonferro metalen over. Afhankelijk van het feit of het mengsel al dan niet verder wordt verwerkt en er een toepassing voor is, kan het mengsel als afval worden beschouwd. Dit geldt in principe ook voor mengsels van verschillende kunststoffen of voor mengsels met verschillende kunststoffen en nonferro's.

9. Kosten en baten per ton ingangsmateriaal

De scheidingskosten per ton ingangsmateriaal NF/NF, K/K of NF/K zijn afgeleid van de, met deze technieken te maken, kosten voor de behandeling van diverse stromen van de onder punt 7 genoemde toepassingsgebieden.

Dit betekent dan ook dat de onderstaande scheidingskosten, voor de hier te behandelen afvalstromen, slechts een richtlijn zijn.

Flotatie

Constructie kosten voor een flotatie plant bedragen ongeveer f7000,- tot f10000,- per ton per dag voor kleine plants (500-1000 ton per dag), terwijl voor grote plants de kosten variëren van ongeveer f4000,- tot f7000,- per ton per dag. Indien als medium water kan worden gebruikt is dat relatief goedkoop. Verder dienen de deeltjes, die aan flotatie worden onderworpen eerst verkleind te worden, hetgeen ook kosten met zich meebrengt.

Hoe groter de capaciteit van de plant is, des te lager zijn de kosten. Per ton ingangsmateriaal zullen de kosten voor een relatief kleine flotatie cel (1 ton/uur) ongeveer f10,- tot f20,- bedragen. Voor een relatief grote flotatie plant met een capaciteit boven 50000 ton per dag bedragen de kosten ongeveer f5,- per ton ingangsmateriaal.

Drijf-zink technieken

De operationele kosten zullen variëren tussen f1,- en f2,- per ton voeding, afhankelijk van zowel het aantal ton dat per uur kan worden verwerkt als het te gebruiken medium; deze kosten gelden indien water of een zoutoplossing als medium kan worden gebruikt. Indien echter een (duurdere) organische vloeistof wordt gebruikt zullen de kosten stijgen naar f5,- tot f10,- per ton, aangezien in dat geval extra apparatuur nodig is om de deeltjes van de vloeistof te scheiden, om de vloeistof te zuiveren en te recyclen.

Magnetische vloeistoffen

In de beschikbare literatuur zijn geen gegevens aangetroffen over de kosten. Verwacht kan worden dat de kosten in dezelfde grootte orde zullen liggen als die van eerder beschreven, met organische vloeistoffen bedreven, drijf-zink technieken. De totale investering van een scheidingscel voor een magnetische vloeistof zal hoger liggen dan die van een gewone drijf-zink cel.

Hydrocyclonage

De totale installatie kosten voor een hydrocycloon zijn vrij laag (de kosten van een hydrocycloon bedragen ongeveer f25000,-). De onderhoudskosten zijn te verwaarlozen. De kosten voor hydrocyclonage zullen per ton ingangsmateriaal tussen f2,- en f5,- liggen.

Jiggen

De directe operationele kosten hangen af van de aard en de grootte van het te behandelen materiaal, het aantal vereiste jig-trappen en de grootte van de plant. In grote plants die kolen of ijzer ertsen behandelen bedragen de kosten f0,20 tot f1,- per ton ingangsmateriaal.

Nat zeven

De kosten van het nat zeven zijn vergelijkbaar met die van het droogzeef proces (zie Bijlage II). Globaal kan worden gesteld dat de kosten per ton ingangsmateriaal zullen liggen tussen f0,50 en f1,-.

De te verkrijgen baten zijn afhankelijk van de opbrengsten van de af te scheiden produkten.

10. Capaciteit van de techniek

De capaciteiten van de diverse technieken, zoals die in andere toepassingsgebieden worden gebruikt, zullen naar alle waarschijnlijkheid in vergelijking met de benodigde capaciteit voor de in deze studie te bespreken afvalstromen, groot zijn. Kleinere capaciteiten zijn te realiseren.

Flotatie

In de ertsverwerkende industrie zijn flotatie apparaten operationeel met capaciteiten die variëren van 2000-4000 ton/uur. Voordelen van flotatie apparatuur op grotere schaal zijn: Lagere installatie kosten en lagere operationele kosten.

Drijf-zink technieken

Drijf-zink scheidingsmiddelen kunnen nogal variëren in capaciteit; afhankelijk van het type apparaat is een capaciteit van 900 ton/uur te realiseren.

Magnetische vloeistoffen

In de literatuur werd slechts melding gemaakt van een pilot-plant installatie; op productieschaal zal deze techniek waarschijnlijk een capaciteit hebben van ongeveer 1 ton/uur.

Hydrocyclonage

De capaciteit van een hydrocycloon is gekoppeld aan de scheidingsdiameter; beide zijn afhankelijk van de grootte van de cycloon. Zo kunnen de capaciteiten oplopen tot 25 ton/uur.

Jiggen

Op commerciële schaal worden jigs bedreven met capaciteiten oplopend tot 260 ton/uur.

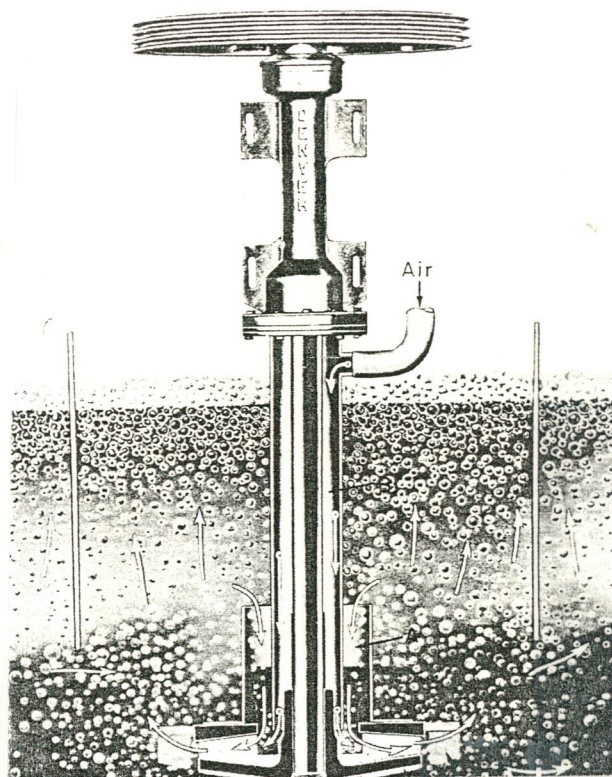
Nat zeven

De capaciteit van een zeef is afhankelijk van de oppervlakte en de maaswijdte van de zeef en de aard van het te zeven materiaal.

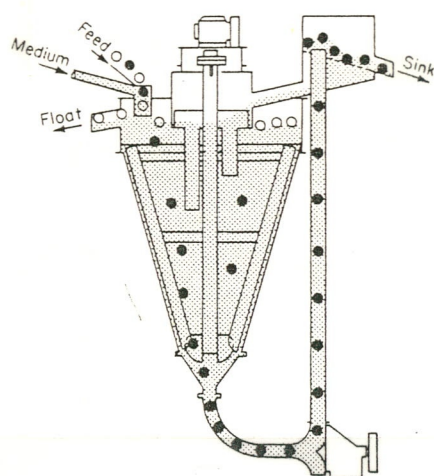
Zo heeft bijvoorbeeld een zeef met een maaswijdte van 2.5 cm een capaciteit, afhankelijk van het te zeven materiaal, die varieert tussen 3 en 10 ton/uur.m²; bij een kleinere maaswijdte gaat de capaciteit omlaag.

Literatuur

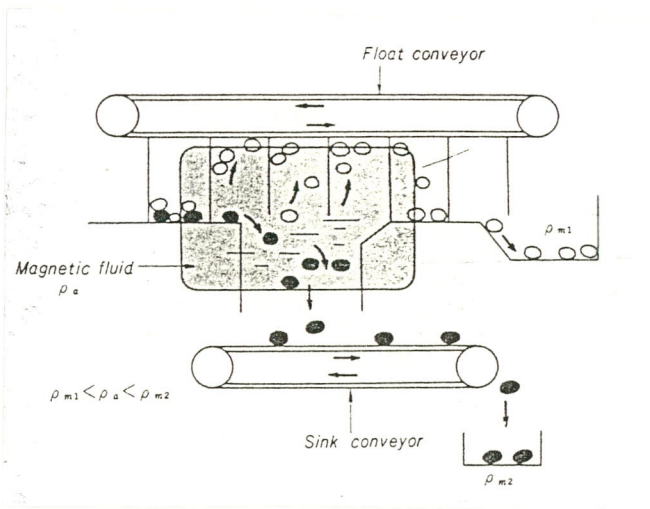
- Perry's Chemical Engineers Handbook
- Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology
- Monografie "Hydrocyclonen", TNO, W. Engelhard
- Artikel: "Recovery of nonferrous metals using magnetic fluid techniques", Nogita S., Hitachi Review, vol. 26 (1977), no.4
- Artikel: "Scheiding van nonferro metalen, nat of droog, of op 't oog?", Recycling juni/juli 1986.
- Artikel: "On new single-operation magnetic methods for separation of comminuted solid-waste components", Andres, U., Lin, I., Separation science, vol. 10, no. 2 (1975).
- Artikel: "Resource recovery from solid wastes by water only cyclone process and heavy medium cyclone process", Reeves, P.C. e.a., Conservation & Recycling, vol. 2, 233-254 (1979).
- Artikel: "Rückführung von Kunststoffabfällen", Lauer, W., Plastverarbeiter, vol. 32, no. 9, 257-261 (1979).
- Artikel: "System reclaims aluminium from garbage, auto scrap", Bowe, J., Modern metals, vol. 35, no. 9, 30-32 (1979).



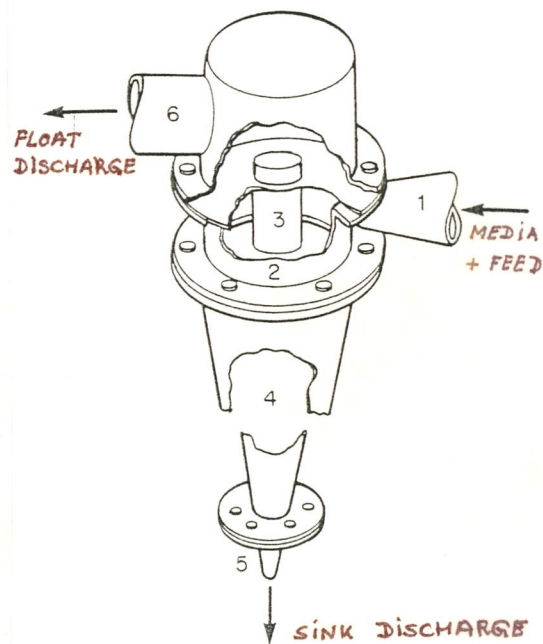
Figuur 1: Flotatie cel



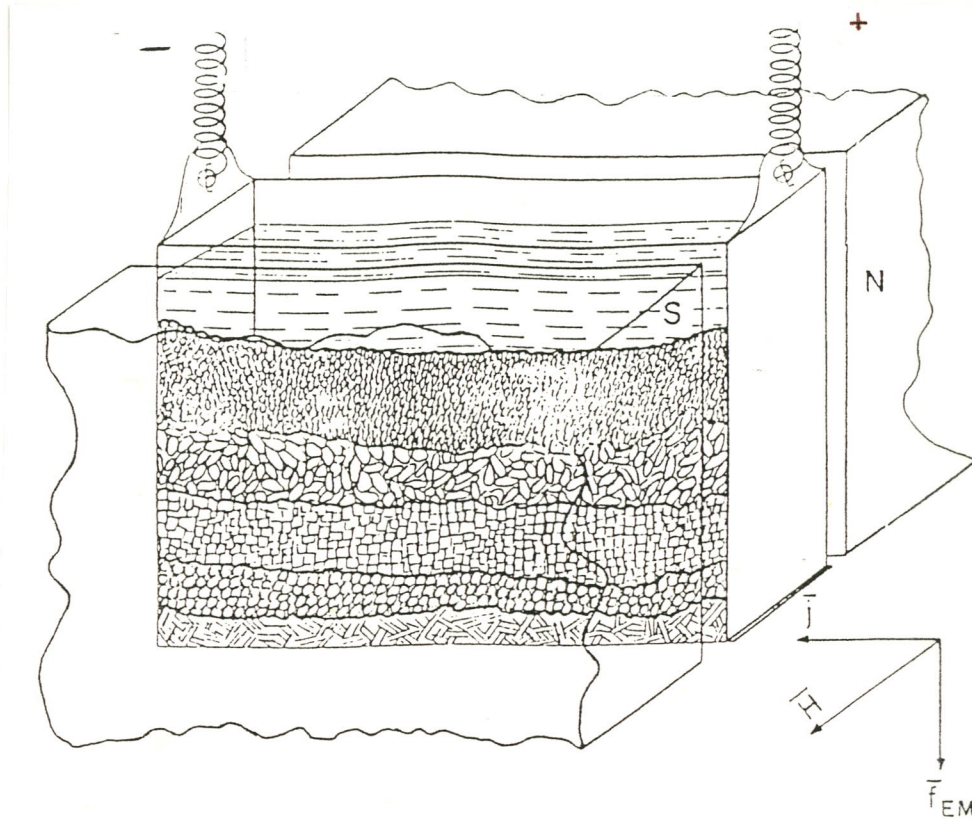
Figuur 2: Drijf-zink cel



Figuur 3: Drijf-zink cel, werkzaam met een magnetische vloeistof



Figuur 4: (Hydro)cycloon



Figuur 5: MHD jiggen van een mengsel van 5 kunststoffen

Bijlage IV: (Electro)magnetische en electrostatistische technieken.

Tot deze groep behoren ondermeer:

- 1 ferromagnetische technieken
- 2 HGMS (high gradient magnetic separations)
- 3 eddy-current technieken
- 4 electrostatistische technieken

1. Op welke soort afvallen/stromen van toepassing.

Ferromagnetische technieken: alle afvalstromen die metalen of metaalverbindingen met ferromagnetische (of sterk paramagnetische) eigenschappen (bv. ijzer, nikkel, kobalt en legeringen van deze metalen) bevatten.

HGMS: alle afvalstromen die metalen of metaalverbindingen bevatten die paramagnetische eigenschappen bezitten.

Eddy-current technieken: afvalstromen die bestaan uit metaaldeeltjes, eventueel in combinatie met niet-metaal deeltjes.

Electrostatistische technieken: alle droge afvalstromen die non-ferrometalen, kunststoffen of combinaties hiervan bevatten.

2. Doel/werkingsprincipe van de techniek.

Ferromagnetische technieken: het verwijderen van ferromagnetische componenten uit een afvalstroom met metalen en/of kunststoffen. De (ferro)magnetische componenten worden verwijderd door de afvalstroom langs een sterke, permanente of electro-, magneet te leiden die de (ferro)magnetische componenten van het overige materiaal scheidt.

HGMS: het scheiden van (sterk) paramagnetische materialen van niet-magnetische (of zwak paramagnetische) materialen door de afvalstroom door een sterk magnetisch veld met hoge veld gradiënten te leiden. Het vaste afval is in het algemeen aanwezig in de vorm van een waterige suspensie, 15 tot 60 gewichtsprocent vaste stof.

Eddy-current technieken: het scheiden van metalen van niet-metalen, of van non-ferrometalen onderling, door gebruik te maken van de geleidbaarheid van het materiaal. Als een geleidend deeltje zich in een fluctuerend magnetisch veld bevindt, dan ontstaat in het deeltje een wervelstroompje. De kracht die het veranderende magneetveld uitoefent op dat wervelstroompje wordt gebruikt voor de scheiding van deeltjes.

Electrostatistische technieken: het (af)scheiden van vaste deeltjes op basis van verschillen in aantrekking of afstoting van geladen deeltjes onder invloed van een elektrisch veld.

3. Typen af te scheiden materialen.

Ferromagnetische technieken: alleen geschikt voor het afscheiden van (ferro)magnetische metalen (Fe, Co en Ni) en metaallegeringen die Fe, Co en Ni bevatten.

HGMS: HGMS geeft een scheiding op basis van magnetische susceptibiliteit. Afhankelijk van de grootte van (de gradiënt in) het magnetische veld en de vloeistofsnelheid door het apparaat, worden materialen met een magnetische susceptibiliteit boven een bepaalde waarde, sterk of zwak paramagnetische materialen, vast gehouden terwijl het overige materiaal, zwak paramagnetisch of diamagnetisch materiaal, ongehinderd door het apparaat stroomt.

Eddy-current technieken: in principe worden hier niet geleidende materialen, kunststoffen, gescheiden van geleidende materialen, metalen. Als de verhouding geleidbaarheid/dichtheid van twee non-ferrometalen voldoende verschillen dan is het ook mogelijk deze metalen te scheiden.

Electrostatistische technieken: met deze technieken worden deeltjes met verschillende electrostatistische eigenschappen gescheiden. Het is mogelijk geleiders (non-ferrometalen) te scheiden van niet geleiders (kunststoffen). Ook is het mogelijk verschillende kunststoffen en non-ferro's onderling te scheiden.

4. Korte beschrijving van de technieken.

Ferromagnetische technieken. De ferromagnetische technieken zijn alleen in staat materialen af te scheiden die (ferro)magnetisch, of zeer sterk paramagnetisch, zijn. Het afval wordt langs een magnetisch oppervlak geleid dat de (ferro)magnetische componenten aantrekt. De scheiding vindt dan plaats doordat de magneet de (ferro)magnetische deeltjes uit de afvalstroom trekt en ergens anders weer los laat (bv. cross-belt scheider en sommige trommelscheiders) of doordat de magneet de (ferro)magnetische deeltjes langer vast houdt dan het overige materiaal (bv. de bandrol (pulley) scheider en een aantal trommelscheiders die werken als een bandrolscheider). Bij een aantal types magneetscheider passeert de afgescheiden magnetische fractie nog een tweede magneet om niet-magnetisch materiaal dat tijdens de eerste scheiding is meegesleurd alsnog af te scheiden (figuur 1). Over het algemeen werken de ferromagnetische technieken met droge afvalstromen. Er bestaan echter ook trommelscheiders die in staat zijn (ferro)magnetische deeltjes uit een suspensie te verwijderen (figuur 2).

HGMS. Bij HGMS wordt gebruik gemaakt van een sterk magnetisch veld met daarin grote veldgradiënten. Hierdoor is het mogelijk paramagnetische deeltjes in een veld vast te houden terwijl niet-magnetische deeltjes ongehinderd verplaatst worden. De deeltjes bevinden zich (vrijwel) altijd in een waterige suspensie en hebben afmetingen van 10 tot 100 μ m. Er bestaat ook apparatuur die in staat is grotere deeltjes, tot enkele mm, te verwerken.

Er zijn twee basistypen voor de HGMS:

1. scheiders met een roterende matrix die continu werken en
2. scheiders met een statische matrix die cyclisch werken.

Bij scheiders van het eerste type draait een ringvormige matrix snel tussen de polen van enkele sterke stationaire magneten, waarbij het magneetveld in radiële richting op de ringvormige matrix staat. De

Bijlage II: Droog mechanische technieken

Deze groep omvat ondermeer de volgende technieken:

1. Luchtclassificatie:
 - Windziften
 - Gascyclonage
 - Scheiding met behulp van fluid bedden
2. Scheiding met behulp van triltechnieken
3. Scheiding met behulp van zeeftechnieken:
 - Zeven
 - Luchtzeven
4. Ballistische scheiding

In het navolgende zal een inventarisatie van bovengenoemde beschikbare scheidingstechnieken plaatsvinden. Hierbij wordt van de volgende te scheiden combinaties van afvalstromen uitgegaan:

- Nonferro metaal/Kunststof (NF/K)
- Kunststof/Kunststof (K/K)
- Nonferro metaal/Nonferro metaal (NF/NF)

1. Op welke soort afvallen/stromen zijn deze technieken van toepassing ?

Met behulp van de droog mechanische technieken zal in de praktijk geen definitieve scheiding, maar een concentratie van verschillende fracties worden bewerkstelligd. Deze concentratie vindt veelal plaats nadat eerst een voorbereiding, zoals verkleinen, heeft plaatsgevonden. Na concentratie kan vervolgens een proces worden uitgevoerd, die een zuivere scheiding oplevert.

2. Het doel/werkingsprincipe van iedere techniek

De scheidingstechnieken berusten op het principe dat het mogelijk is om op grond van bepaalde deeltjeseigenschappen de aanvoer op te splitsen in twee of meer produktstromen. De kans dat een willekeurig deeltje in een bepaalde produktstroom terecht komt wordt in belangrijke mate bepaald door de voor die scheiding karakteristieke deeltjeseigenschap. De karakteristieke eigenschap van het deeltje kan bijvoorbeeld zijn de afmeting, de dichtheid, de vorm, de elasticiteit of een combinatie van dergelijke eigenschappen. De scheiding zal beter verlopen naarmate er grotere verschillen bestaan tussen de waarden waarin de betreffende karakteristieke deeltjeseigenschappen worden uitgedrukt.

Windziften

Het onderling scheiden van vaste deeltjes op grond van verschillen in dichtheid, vorm en grootte in een luchtstroom.

Gascyclonage

Het afscheiden van vaste deeltjes uit een gas op basis van verschillen

in dichtheid en grootte, door middel van een centrifugaalkracht, die door de stofstroom zelf wordt opgewekt in een wervel.

Fluid bedden

Het scheiden van vaste deeltjes op basis van verschillen in dichtheid; het mengsel van vaste stoffen kan enerzijds worden toegevoegd aan een wervelbed met poeder, alwaar scheiding naar dichtheid plaatsvindt, anderzijds kan ook het te scheiden materiaal zelf als medium dienen.

Scheiding met behulp van triltechnieken

Het scheiden van een mengsel van vaste deeltjes op basis van verschillen in grootte, vorm of dichtheid; de scheiding vindt plaats door het mengsel op een hellend oppervlak in trilling te brengen, waardoor deeltjes op grond van hun eigenschap een bepaalde weg over het oppervlak zullen afleggen.

Zeven

Het scheiden van vaste deeltjes naar grootte.

Luchtzeven

Het scheiden van vaste deeltjes naar grootte en dichtheid.

Ballistische scheiding

Het scheiden van vaste deeltjes op grond van verschillen in elasticiteit, traagheid en luchtweerstand.

3. De typen af te scheiden materialen

In principe zijn alle in deze groep genoemde technieken geschikt voor het scheiden van nonferro metalen, kunststoffen of combinaties van de twee, mogelijkerwijs met de voorwaarde dat de mengsels de juiste voorbewerkingen hebben ondergaan.

Zoals onder punt 1 reeds is aangegeven, zullen deze technieken in de praktijk eerder een concentratie van fracties dan een definitieve scheiding teweeg brengen.

4. Korte beschrijving van de technieken

Windziften

Windziften is een techniek waarbij deeltjes in een zwaartekrachtsveld worden geclassificeerd op hun valgedrag in een luchtstroom. "Lichte" deeltjes met een relatief groot oppervlak worden eerder met de luchtstroming meegenomen dan "zware" deeltjes met een geringe aerodynamische weerstand. Hierdoor ontstaan verschillen in deeltjesbanen, waarvan gebruik wordt gemaakt om verschillende produktstromen af te kunnen scheiden.

Er zijn vele uitvoeringsvormen van windziften. De apparaatvorm kan variëren van een recht, vertikaal kanaal tot een vertikaal, zigzag vormig kanaal. Verder kan de vorm variëren van een horizontale tot een roterende cilinder, die onder een geringe hoek ten opzichte van de horizontaal is geplaatst. Door alle apparaten wordt lucht geblazen (gezogen) en wor-

den de vaste stof deeltjes in de luchtstroming gebracht. Het materiaal belandt vervolgens op grond van zijn stromingsgedrag in een van de produktfracties. De roterende cilinder en de zig zag zifter zijn meertrapszifters, waarin het materiaal meerdere malen aan het ziftproces wordt onderworpen. Het materiaal wordt namelijk tijdens het verblijf in de zifter meermaals in de hoofdstroming van de lucht gebracht. In figuur 1 is een schematische weergave van een rechte stijgzifter gegeven. In figuur 2 zijn de geometrie van een zig zag zifter, de luchtstroming en de deeltjesstroming weergegeven.

Gascyclonage

Gascyclonage is een techniek waarbij op basis van centrifugale krachten deeltjes uit een stofstroom worden afgescheiden. De afscheiding vindt plaats in een wervel, die door de stofstroom zelf wordt opgewekt in een cycloon.

Het principe berust op het verschil in grootte van de centrifugaal kracht op de vaste deeltjes, die bij een ingestelde conditie van een bepaalde gascycloon slechts wordt bepaald door de deeltjesgrootte en het soortelijk gewicht van het deeltje. De voedingsstroom wordt verdeeld in een onderstroom, welke de meeste afgescheiden deeltjes bevat en een bovenstroom, die voor het grootste gedeelte uit de continue fase (lucht) bestaat. Een scherpe scheiding tussen deeltjes met een verschillende diameter is echter niet mogelijk.

In figuur 3 is een gascycloon weergegeven.

Scheiding met behulp van fluid bedden

Scheiding met behulp van fluid bedden geschiedt voornamelijk op basis van verschillen in dichtheid van de vaste deeltjes.

Het mengsel van vaste stoffen kan aan een wervelbed met poeder worden toegevoegd; in een dergelijk systeem wordt ferro-silicium, magnetiet, ijzerpoeder of zand met lucht gefluidiseerd, waardoor het zich gedraagt als een vloeistof. Door de hoeveelheid lucht te variëren kan de soortelijke dichtheid van het mengsel worden gevarieerd. Dit kan zover worden doorgevoerd, tot er bellen en voorkeurskanalen in het fluid bed komen. De fluid bed-scheiding functioneert soms zonder dat er hulpstoffen zijn toegevoegd; in een dergelijk geval dient het te scheiden materiaal zelf als medium.

Scheiding met behulp van triltechnieken

Scheiding met behulp van triltechnieken geschiedt op basis van verschillen in grootte, vorm of dichtheid van de vaste deeltjes.

Bij deze technieken kan gedacht worden aan een apparaat als een schudtafel: Dit is een vlak blad, dat met een zeer geringe helling van enkele graden ten opzichte van de horizontaal wordt opgesteld en van smalle latten, op geringe afstand van elkaar (smalle groeven), is voorzien. De tafel krijgt een trilling; wanneer over deze tafel een mengsel van vaste deeltjes gevoerd wordt, zullen de grove deeltjes door de groeven naar beneden worden geleid, terwijl de fijnere deeltjes juist in de dwarsrichting worden afgevoerd. Op deze manier kunnen de deeltjes op grootte en dichtheid van elkaar worden gescheiden.

Zeven

Het zeefproces is erop gericht deeltjes naar hun afmetingen te classificeren. Een mengsel van vaste deeltjes zal door een zeefproces gescheiden worden in twee fracties, te weten: Een fractie van deeltjes, die de

zeefopeningen passeren en een van deeltjes die op het zeefoppervlak blijven liggen.

Om het zeefproces goed te laten verlopen, is het nodig de deeltjes ten opzichte van het zeefoppervlak te laten bewegen. Deze beweging kan worden gerealiseerd door

- het zeefoppervlak een grote hoek ten opzichte van de horizontaal te geven, waardoor glijden en/of rollen onder invloed van de zwaartekracht plaatsvindt (trommel-/roterende zeef).
- het laten trillen van het zeefoppervlak (trilzeef).

Naast bovenstaande zeven bestaan ook de vaststaande zeef, de handzeef en de zeefbocht.

In figuur 4 staat een schematische weergave van een roterende trommelzeef met drie zeefsecties.

Luchtzeven

Het luchtzeefproces is erop gericht deeltjes te scheiden naar grootte en dichtheid. In het algemeen wordt de techniek gebruikt om deeltjes van gelijke grootte te scheiden naar dichtheid. Het mengsel van deeltjes wordt op een zeefoppervlak gebracht; door de zeef en het mengsel wordt een zodanige luchtstroom geleid dat zware deeltjes met een grootte, kleiner dan de maaswijdte van de zeef, er doorheen vallen, terwijl (even grote of grotere) lichte deeltjes met de luchtstroom worden meegevoerd.

Ballistische scheiding

Ballistische scheiding berust op verschillen in elasticiteit, traagheid en luchtweerstand van de deeltjes. Afhankelijk van de uitvoeringsvorm van de ballistische scheider overheersen een of meerdere van bovengenoemde deeltjeseigenschappen. In zijn eenvoudigste vorm bestaat de ballistische scheider uit een rotor, die het materiaal "wegwerpt" (figuur 5). De beginimpuls van het deeltje hangt onder meer af van de elastische eigenschappen van het deeltje.

De baan, die het deeltje daarna beschrijft, hangt van dezelfde krachten af als in een zifter, namelijk de meesleepkracht van de lucht en de zwaartekracht. Fracties met een bepaalde range van "deeltjesbanen" worden apart opgevangen (zie figuur 5).

Een andere uitvoering is de "secator", waarbij het materiaal via een snellopende band tegen een plaat wordt geworpen (figuur 6) en vervolgens via een rotor gescheiden. De elastische eigenschappen van het materiaal spelen hier een overheersende rol. Door de plaat niet loodrecht op de afgelegde baan van de deeltjes te plaatsen, kan men ook nog de verschillen in wrijving op de plaat benutten, aangezien een gedeelte van het materiaal over de plaat zal bewegen.

5. Ontwikkelingsstadium

Alle in deze groep genoemde technieken worden reeds, zij het soms in een geheel andere tak van de industrie (zie ook punt 7), op praktisch-schaal toegepast.

6. Technologische randvoorwaarden/rendement

Voor alle technieken geldt dat er mogelijkwerijs een of meerdere voorbewerkingsstappen nodig zijn om er voor te zorgen dat de vaste deeltjes los van elkaar zijn.

Verder gelden voor de afzonderlijke technieken de volgende randvoorwaarden, waarop hier niet kwantitatief wordt ingegaan:

- De deeltjesgrootte en -verdeling en vorm: Alle technieken.
- De verschillen in dichtheid van de te scheiden componenten: Windziften, gascyclonage, scheiden met behulp van triltechnieken, scheiden met behulp van fluid bedden.
- De luchtverdeling in een windzifter.
- De concentraties vaste stof in de gasfase: Cyclonage.
- Voor de zeeftechnieken geldt dat alle vaste deeltjes de kans moeten krijgen in contact te komen met het zeefoppervlak en eventueel afgezeefd te worden.
- De verschillen in elasticiteit, traagheid en luchtweerstand tussen de te scheiden deeltjes: Ballistische scheiding.

Rendement:

Voor alle technieken zijn voor specifieke toepassingen rendementen gevonden, die variëren tussen 80 en 99 %, hetgeen betekent dat de verkregen fracties "verontreinigd" zijn met deeltjes, die in het geval van een volledige scheiding in een andere fractie terecht zouden zijn gekomen.

7. Toepassingsgebieden

De droog mechanische technieken worden voor tal van scheidingsdoeleinden gebruikt; hieronder worden per techniek een aantal toepassingen gegeven.

Windziften

Windziften wordt over het algemeen toegepast om aparte componenten in de mengsels van NF/NF, K/K en NF/K te concentreren.

- Op kleine schaal wordt windziften toegepast bij de verwerking van electronisch afval.
- Op grote schaal wordt met behulp van windziften huishoudelijk afval verwerkt.
- Een andere toepassing op grote schaal is de verwerking van autoshradder afvallen; door middel van windziften kan in eerste instantie een scheiding metaal/niet-metaal worden bewerkstelligd. In tweede instantie kunnen, nadat met behulp van een magneet de ferro metalen uit het mengsel zijn verwijderd, de nonferro metalen onderling worden gescheiden, indien er voldoende verschil is in dichtheid.

Gascyclonage

De gascycloon wordt in principe toegepast om vaste dan wel vloeibare verontreinigingen uit de gasfase te verwijderen.

- Toepassing in de chemische industrie voor processen als drogen en

calcineren.

- Gascyclonage kan worden toegepast om vliegassen uit gassen te verwijderen en te concentreren.
- In de ertsverwerkende industrie wordt gascyclonage gebruikt voor de opwerking van ertsen.

Scheiding met behulp van fluid bedden

Fluid bed-scheiding kent op het gebied van de afvalstoffenverwerking slechts een beperkte toepassing. Het systeem wordt wel toegepast voor de scheiding tussen aardappelen en stenen, kolen en stenen, ertsen en verontreinigingen, metalen en kunststoffen (kabelafvallen) en de terugwinning van metaaldeeltjes uit slakken.

Scheiding met behulp van triltechnieken

Een toepassingsgebied van de triltechnieken ligt bijvoorbeeld bij de verwerking van autoshreder afvallen, ten behoeve van het concentreren van de nonferro metalen. Verder wordt de triltechniek ook gebruikt om kunststoffen en nonferro metalen uit verkleinde afvallen af te scheiden.

Zeven

Toepassingen van droog zeven vinden op velerlei combinaties van stoffen plaats.

De in figuur 4 weergegeven trommelzeef wordt vaak toegepast voor huisvuilscheidingsprocessen.

Luchtzeven

Een voorbeeld van een specifieke toepassing van deze techniek is de afscheiding van steentjes uit compost; door het compost mengsel op de zeef te brengen en hier een luchtstroom door te blazen zullen de zware steentjes door de zeef vallen, mits hun afmeting natuurlijk kleiner is dan de maaswijdte van de zeef, terwijl de lichte compost deeltjes juist met de luchtstroom worden meegevoerd.

Ballistische scheiding

Ballistische scheiding wordt toegepast voor de verwerking van bedrijfsafvalstoffen. Tevens kan een concentratie van nonferro metalen en kunststoffen uit shredder afval plaatsvinden.

8. Resterende afvalproblematiek

De resterende afvalproblematiek van de hier te behandelen afvalstromen is afhankelijk van de hoedanigheid van de te verwerken afvalstromen. Indien uit een mengsel van (meer dan twee) nonferro metalen een van de metalen met behulp van een bepaalde scheidingstechniek wordt afgescheiden, blijft er een mengsel van nonferro metalen over; indien dit mengsel niet verder wordt verwerkt en er ook geen toepassing voor is, kan het als afval worden gezien. Dit geldt in principe ook voor mengsels van verschillende kunststoffen of voor mengsels met verschillende kunststoffen en nonferro's.

9. Kosten en baten per ton ingangsmateriaal

De scheidingskosten per ton ingangsmateriaal NF/NF, K/K of NF/K zijn afgeleid van de, met deze technieken te maken, kosten voor de behandeling van diverse stromen van de onder punt 7 genoemde toepassingsgebieden. Dit betekent dat de onderstaande scheidingskosten, voor de hier te behandelen afvalstromen, slechts als richtlijn dienen te worden beschouwd.

Windziften

Afhankelijk van het type windzifter en zijn toepassing kunnen de verwerkingskosten variëren van een paar kwartjes per ton (voor de eenvoudigste uitvoering, waarvoor een relatief laag luchtdebiet nodig is en weinig of geen onderhoudskosten aan verbonden zijn) tot f5,- per ton voor een gecompliceerde zifter. Hiermee wordt dan een zig zag zifter bedoeld waar aan een cycloon voor de luchtafscheiding is gekoppeld.

Gascyclonage

De kosten van een cycloon zijn afhankelijk van de aard van het te verwerken materiaal, speciale modificaties en installatiekosten. De jaarlijkse kosten worden net als voor alle apparaten bepaald door onder andere de afschrijvingstermijn, rente, energiekosten en het aantal uur dat de cycloon per jaar werkt. De onderhoudskosten zijn te verwaarlozen. De jaarlijkse kosten van een cycloon liggen globaal rond f0,10 per 1000 m³ lucht, zodat gesteld kan worden dat de verwerkingskosten per ton ingangsmateriaal zullen variëren tussen f1,- (hoge ingangskoncentratie, 1 kg/m³) en f100,- (lage ingangskoncentratie, 10E-3 kg/m³).

Scheiding met behulp van fluid bedden

Deze techniek kent op het gebied van afvalstoffenverwerking slechts een beperkte toepassing.

Scheiding met behulp van triltechnieken

De verwerkingskosten voor deze techniek zijn afhankelijk van de capaciteit, de deeltjesgrootte en de kosten van het apparaat zelf en zullen variëren van f1,- tot f5,- per ton ingangsmateriaal.

Zeven

De kosten van het zeven zullen variëren, afhankelijk van het type zeef, de capaciteit en de te zeven deeltjes. Een eenvoudige schudzeef installatie, met een beperkte capaciteit, zal tussen de f10000,- en f20000,- kosten, terwijl een trommelzeef, die een veel grotere capaciteit heeft f300000,- kost. Globaal kan worden gesteld dat de kosten van zeven, afhankelijk van het bovenstaande, zullen liggen tussen f0,50 en f1,- per ton ingangsmateriaal.

Luchtzeven

In de literatuur zijn twee verschillende luchtzeef installaties beschreven; de aanschafkosten van de goedkoopste bedragen f150000,-, terwijl die van de duurste f300000,- bedragen. De duurste heeft daarbij hogere onderhoudskosten en energiekosten. Rekening houdend met een afschrijvingsperiode van 5 jaar, zullen de kosten voor het luchtzeven per ton ingangsmateriaal globaal liggen tussen f1,- en f2,-.

Ballistische technieken

Afhankelijk van de capaciteit, het toepassingsgebied en het apparaat zullen de kosten rond fl,- per ton ingangsmateriaal liggen.

De te verkrijgen baten zijn afhankelijk van de opbrengsten van de af te scheiden produkten.

10.Capaciteit van de techniek

De capaciteiten van de diverse technieken, zoals die in de andere toepassingsgebieden worden gebruikt, zullen naar alle waarschijnlijkheid, in vergelijking met de benodigde capaciteit voor de in deze studie besproken afvalstromen, groot zijn. Kleinere capaciteiten zijn te realiseren.

Windziften

De windzifters, die gebruikt worden voor de verwerking van autowrakken, hebben een capaciteit van enige tientallen tonnen per uur.

Gascyclonage

Het gemiddelde gasdebiet van een cycloon is ca. 10000 m³/uur; bij een concentratie vaste deeltjes van 1 kg/m³ betekent dit een capaciteit van ca. 10 ton/uur.

Scheiding met behulp van fluid bedden

Deze techniek is op het gebied van de verwerking van afvalmengsels nog in ontwikkeling; een fluid bed met een diameter van 0.50 m zal naar verwachting een paar honderd kilogram per uur kunnen verwerken. De schaalgrootte is hierbij sterk afhankelijk van de geometrie van het apparaat. Capaciteiten van enkele tonnen per uur zijn haalbaar.

Scheiding met behulp van triltechnieken

Geschat wordt dat een schudtafel ongeveer 10 ton/uur kan verwerken.

Scheiding met behulp van zeeftechnieken

De capaciteit van een zeef is afhankelijk van de oppervlakte van de zeef, de maaswijdte en het te zeven materiaal. Zo heeft een zeef met een maaswijdte van 2.5 cm een capaciteit, afhankelijk van het te zeven materiaal, die varieert tussen 3 en 10 ton/uur.m²; bij een kleinere maaswijdte gaat de capaciteit omlaag.

Ballistische technieken

Geschat wordt dat de onder punt 4 beschreven secator een maximale capaciteit heeft van ongeveer 30 ton/uur.

matrix bestaat uit vertikaal gegroefde platen (de "Jones"scheider), uitstekende wigvormige staven, een grof rooster of kogels gefixeerd tussen een annulaire ring. De (electro)magneten wekken het sterke veld op terwijl de matrix er voor zorgt dat er, binnen de matrix, hoge gradiënten in dit veld ontstaan. De suspensie met het te scheiden materiaal wordt in de matrix gebracht op de plaats waar de matrix het magneetveld binnenkomt, zie figuur 3. De eerste afvoer zit ongeveer in het midden van het magneetveld; hier verlaten alle niet-magnetische deeltjes de matrix. Zwak paramagnetische deeltjes en achtergebleven niet-magnetische deeltjes worden met behulp van een lage druk vloeistofstroom uit de matrix gespoeld, net voordat deze het magneetveld verlaat. De sterk paramagnetische deeltjes worden geheel buiten het magneetveld met behulp van een hoge druk waterstroom uit de matrix verwijderd.

Bij de scheiders met een statische matrix bevindt deze matrix zich in een kolom. Om deze kolom is een holle geleider en een aantal koperen spoelen geplaatst. Deze spoelen wekken een sterk magnetisch veld op binnen de kolom. Als een suspensie, die paramagnetische deeltjes bevat, door deze kolom wordt geleid, dan blijven de paramagnetische deeltjes in de matrix achter. Als de matrix is verzadigd met deeltjes wordt de kolom eerst gespoeld met water, om achtergebleven niet-magnetische deeltjes te verwijderen, waarna het magneetveld wordt uitgeschakeld. De paramagnetische deeltjes worden daarna met een hoge druk vloeistofstroom uit de kolom gespoeld.

Afhankelijk van de sterkte van het magnetische veld en de verschillen in magnetische susceptibiliteit van metalen is het met HGMS ook mogelijk verschillende paramagnetische materialen van elkaar te scheiden.

Eddy-current technieken. De eddy-current scheidingstechniek is de enige (electro)-magnetische techniek waarbij geen gebruik gemaakt wordt van de magnetische eigenschappen van materialen. In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van het gegeven dat in geleidende deeltjes, die zich in een in de tijd veranderend magnetisch veld bevinden, een wervelstroom (eddy-current) ontstaat. Dit wervelstroompje wekt op zijn beurt een electro-magnetisch veld op. De afstotende krachten tussen beide magneetvelden is de drijvende kracht voor de scheiding.

De tijdsafhankelijkheid van het magneetveld wordt gecreëerd door de deeltjes over een schuin opgestelde, dunne metalen plaat met direct daaronder een rij magneten, diagonale stroken van magneten met gelijke polariteit met aanliggende stroken met een tegengestelde polariteit, te laten glijden, zie figuur 4. De niet geleidende deeltjes volgen een rechte baan over de plaat terwijl geleidende, metalen deeltjes afbuigen. De mate van afbuiging van de rechte lijn hangt af van de verhouding geleidbaarheid/dichtheid; in de praktijk wordt de afbuiging ook beïnvloed door de deeltjes grootte en vorm.

Een snellere fluctuatie van het magneetveld in de tijd kan worden verkregen door de deeltjes tussen twee roterende schijven met magneetstroken door te laten vallen. De snellere wisseling van het magneetveld geeft dan een betere scheiding.

Afhankelijk van het ontwerp van de eddy-current scheider, de breedte van en de afstand tussen de magneetstroken, kunnen deeltjes van 0,5 tot 3 mm of zelfs deeltjes van 10 tot 150 mm gescheiden worden.

Electrostatistische technieken: electrostatistische scheiding van deeltjes, ook wel "hoge spanningsscheiding" genoemd, is een methode van

scheiden, die gebaseerd is op verschillen in aantrekking en afstoting van electrisch geladen deeltjes onder invloed van een electrisch veld. Voordat de scheiding van de deeltjes kan worden bewerkstelligd is het noodzakelijk dat de af te scheiden deeltjes een afwijkende electrostatische lading hebben van het overige materiaal.

Voor dit opladen van deeltjes kunnen verschillende technieken worden toegepast. Bij electrifiering door wrijving krijgen deeltjes van verschillende materialen tegengestelde ladingen, in een electrisch veld ondervinden ze dan tegengestelde krachten. Bij geleidende inductie krijgen de deeltjes een lading door een geladen oppervlak te raken. Geleidende deeltjes krijgen een lading gelijk aan die van het oppervlak zodat ze afgestoten worden, terwijl in niet geleidende deeltjes alleen een ladingsverschuiving optreedt waardoor deze deeltjes door het oppervlak aangetrokken worden. Bij een ionen-bombardement worden de deeltjes eerst opgeladen door ze met ionen te bestoken. De geladen deeltjes verplaatsen zich daarna naar een tegengesteld geladen oppervlak. Geleidende deeltjes geven hun lading af en krijgen een lading gelijk aan die van het oppervlak; ze worden afgestoten. Niet geleidende deeltjes worden door het oppervlak aangetrokken.

Electrostatistische scheiding van een mengsel van deeltjes is mogelijk, wanneer de electrostatische kracht, die op sommige deeltjes werkt, groot genoeg is om de zwaarte- of traagheidskrachten te overwinnen.

5. Ontwikkelingsstadium.

- a. Technieken die reeds toegepast worden bij afvalverwerking of op een geheel ander gebied:
 Ferromagnetische technieken: schrootverwerking en ijzer (blik) verwijdering uit diverse afvalstromen.
 HGMS: ijzerwinning en verwijdering van ijzerverontreinigingen uit oa. kwarts en klei.
 Electrostatistische scheiding: verwijderen van niet metaal deeltjes uit metaalpoeders, het scheiden van metalen en niet metalen uit verkleind kabelafval.
- b. Technieken die wel uit ontwikkeld zijn maar nog niet algemeen toegepast worden:
 Eddy-current scheiding: er is onderzoek gedaan naar de scheiding van koper en lood, aluminium uit verkleinde kunststof-(PET)-flessen, aluminium uit auto-shredderafval, metaal uit glas en koper uit verkleinde kabelmaterialen.

6. Technologische randvoorwaarden/rendement.

Bij alle (electro)magnetische en electrostatistische technieken geldt dat een volledige scheiding pas mogelijk is als alle verschillende deeltjes los van elkaar zijn. Zijn de deeltjes niet los van elkaar dan worden verontreinigingen met de af te scheiden deeltjes meegesleurd. Een goede voorbehandeling van het materiaal is dus noodzakelijk. Verdere technologische randvoorwaarden die voor de technieken gelden zijn:
 Ferromagnetische technieken: bij het verwerken van afval met grote deeltjes kunnen eenvoudig niet magnetische deeltjes meegesleurd worden. Dit probleem kan opgelost worden door twee ferromagnetische

scheidingen in serie te plaatsen. Bij de tweede scheiding wordt meegesleurd materiaal, dat niet vast aan de magnetische deeltjes zit, alsnog afgescheiden.

HGMS: HGMS kan uitgevoerd worden met een droge afvalstroom maar meestal wordt gewerkt met een suspensie. Dit houdt in dat een droge afvalstroom gesuspendeerd dient te worden voordat het met HGMS behandeld kan worden. Het gevolg is dat over het algemeen ook een nabehandeling, afscheiden en drogen, noodzakelijk zal zijn. Bij het toepassen van HGMS mogen, in het geval van sterke magneetvelden, in de afvalstroom geen ferromagnetische deeltjes aanwezig zijn. Deze deeltjes kunnen, door de sterke magnetische krachten, tijdens het spoelen eenvoudig in de matrix achter blijven waardoor verstopping gaat optreden. In bepaalde gevallen is het zelfs mogelijk dat ook sterk paramagnetische materialen zich in de matrix gaan ophopen. De scheider werkt het best als de afstanden tussen de matrixelementen van de zelfde grootte orde zijn als de afmetingen van de te scheiden deeltjes. Bij een gekozen scheider stelt dit dus eisen aan de afmetingen van het te behandelen afvalmateriaal. Verder kunnen zeer grote deeltjes, groter dan de afstand tussen de matrixelementen, verstoppingen veroorzaken in de matrix. De maximale grootte van de deeltjes is afhankelijk van het ontwerp van de matrix. Als HGMS wordt gebruikt om non-ferrometalen met een klein verschil in magnetische susceptibiliteit te scheiden, is het zeer belangrijk dat de deeltjes een uniforme afmeting hebben. Anders is een goede scheiding niet mogelijk.

Eddy-current technieken: evenals bij HGMS is het bij eddy-current scheiding belangrijk dat in de te behandelen afvalstroom geen magnetische of sterk paramagnetische deeltjes meer aanwezig zijn. Deze deeltjes kunnen op de plaat achter blijven en daar verstoppingen veroorzaken. Er bestaan installaties waar dit probleem is onderkend en waarbij de plaat periodiek wordt "geveegd" om magnetische deeltjes te verwijderen.

De scheiding bij eddy-current technieken, de mate waarin de baan van de metaaldeeltjes afwijkt van een rechte lijn, is het scherpst als de matrix van de scheider, de breedte van en de afstand tussen de magneetstroken, van de zelfde grootte orde is als de afmeting van de te scheiden deeltjes. De deeltjes grootte van het te verwerken afval moet dus voldoen aan de specificaties van de scheider.

Het scheiden van non-ferrometalen met een klein verschil in de verhouding geleidbaarheid/dichtheid is alleen goed mogelijk als de deeltjes een kleine deeltjes grootte spreiding bezitten.

Experimenten met een eddy-current scheider hebben aangetoond dat uit een aluminium/kunststof (PET) mengsel 94 % van het aluminium teruggewonnen kan worden. Verder is bij een één-staps koper/lood scheiding 88 % van het koper teruggewonnen met een zuiverheid van 95 %. Verwacht wordt dat bij een meerstaps scheiding 90 % van het koper met een zuiverheid van 99,5 % teruggewonnen kan worden.

Electrostatistische technieken: de deeltjes mogen niet te klein zijn (minimaal ongeveer 75 μ m), omdat anders de afscheiding verstoord kan worden door luchtverplaatsing: krachten door "tocht" groter dan de electrostatistische krachten. Verwerking van te grote deeltjes heeft tot gevolg dat de hoeveelheid lading op het oppervlak te klein is om zwaarte- of traagheidskrachten te overwinnen. De maximale afmeting is ongeveer 1,5 mm; deze afmeting geldt voor granulair materiaal. Bij deeltjes met een grote oppervlakte/massa verhouding, bv. folie- en

fibermateriaal, kan de limiet boven 25 mm liggen.

Verder is het belangrijk dat het materiaal niet te nat is. Natte deeltjes hebben snel de neiging om, ongeacht het materiaal waar het uit bestaat, elektrische lading te geleiden. Het is niet mogelijk deeltjes met dezelfde geleidende eigenschappen te scheiden.

De technieken geven over het algemeen geen volledige scheiding van de verschillende fracties. Voor een volledige scheiding zijn meerdere stappen noodzakelijk.

7. Toepassingsgebied.

Ferromagnetische technieken worden toegepast om (ferro)magnetische deeltjes uit een afvalstroom te verwijderen. De scheiding kan gebruikt worden om de (ferro)magnetische fractie te winnen of om (ferro)magnetische verontreinigingen te verwijderen voordat bv. HGMS of eddy-current technieken toegepast kunnen worden.

HGMS: de scheiding op basis van de magnetische susceptibiliteit kan gebruikt worden om paramagnetische deeltjes te scheiden van niet-magnetische deeltjes, bv. kunststoffen. Het is met HGMS niet mogelijk metalen volledig van een kunststoffractie te scheiden omdat ook metalen ongevoelig kunnen zijn voor een magneetveld. Tevens is het mogelijk om non-ferrometalen van elkaar te scheiden.

Eddy-current technieken: eddy-current technieken kunnen gebruikt worden om kunststoffen, niet-geleiders, te scheiden van metalen, geleiders. Metalen met zeer slechte geleidende eigenschappen en/of hoge dichtheid kunnen echter in de niet-metaalfractie terecht komen. Bij een voldoende groot verschil in de verhouding geleidbaarheid/dichtheid kunnen ook non-ferrometalen onderling gescheiden worden.

Electrostatistische technieken: deze technieken kunnen zeer algemeen toegepast worden omdat ze zowel non-ferro's en kunststoffen onderling kunnen scheiden als ook non-ferro's van kunststoffen kunnen scheiden. De technieken worden toegepast in de ertsverwerkende industrie, papier/kunststof scheiding en voedselverwerkende industrie.

8. Resterende afvalproblematiek.

(Electro)magnetische en electrostatistische technieken scheiden een afval in twee of meerdere fracties. Of één van deze fracties aangemerkt dient te worden als afval hangt af van de samenstelling van de fractie en de mogelijkheid de fractie verder te behandelen. Zo kunnen ferromagnetische technieken gebruikt worden om (ferro)magnetische materialen te winnen uit een afvalstroom, maar tevens kan de techniek gebruikt worden om (ferro)magnetische verontreinigingen uit een waardevolle stroom te halen. In het eerste geval is de magnetische fractie het product en de rest mogelijk een afval, terwijl in het tweede geval de magnetische fractie een afval is. Dezelfde aspecten (wat is het doel van de techniek, welke fracties ontstaan, wat is de zuiverheid van de fracties en kunnen de fracties opgewerkt worden) gelden ook voor de andere technieken. De enige stroom die direct als afvalstroom aangemerkt kan worden is de vloeistof die bij HGMS gebruikt wordt om de vaste stof te suspenderen. Bij de, op de HGMS volgende, vaste stof/vloeistof scheiding ontstaat een vloeistofstroom die mogelijk verontreinigd is en daarom niet hergebruikt kan worden. Deze vloeistof, die opgelost materiaal en fijn gesuspenseerd

afval kan bevatten, moet afgevoerd worden.

9. Kosten (baten) per ton ingangsmateriaal.

Ferromagnetische technieken: de kosten zijn afhankelijk van het ontwerp van de scheider. De laagste kosten treden op bij de toepassing van een enkelvoudige cross-belt scheider; ca. fl. 0,75 per ton materiaal dat de scheider passeert. Het toepassen van een nat magnetische scheiding met twee trommelscheiders, zoals weergegeven in figuur 2, geeft hogere scheidingskosten; ca. fl. 7 per ton materiaal.

HGMS: de kosten voor het toepassen van HGMS liggen tussen fl. 40 en fl. 70 per ton materiaal. De hoge kosten worden voornamelijk veroorzaakt door de hoge investering in apparatuur, kfl. 125 tot kfl. 500 per geïnstalleerde ton/uur aan capaciteit.

Eddy-current: er is weinig bekend over de kosten voor het toepassen van eddy-current technieken. De apparatuur die op de markt beschikbaar is, is bijvoorbeeld ontworpen voor het afscheiden van aluminium uit autoshradderafval. De kosten komen dan op fl. 4 tot fl. 6 per ton behandeld materiaal.

Electrostatistische technieken: de kosten voor het verwerken van ertsen met electrostatistische technieken komen neer op ongeveer fl. 6 per ton ingangsmateriaal.

10. Capaciteit.

Ferromagnetische technieken: deze technieken kunnen in feite alle gewenste capaciteiten verwerken. Een cross-belt scheider bezit een maximale capaciteit van 0,13 tot 0,36 ton afval per uur per 0,1 m bandbreedte, terwijl een trommel-scheider 0,6 tot 1,0 ton afval per uur per 0,1 m trommelbreedte kan verwerken.

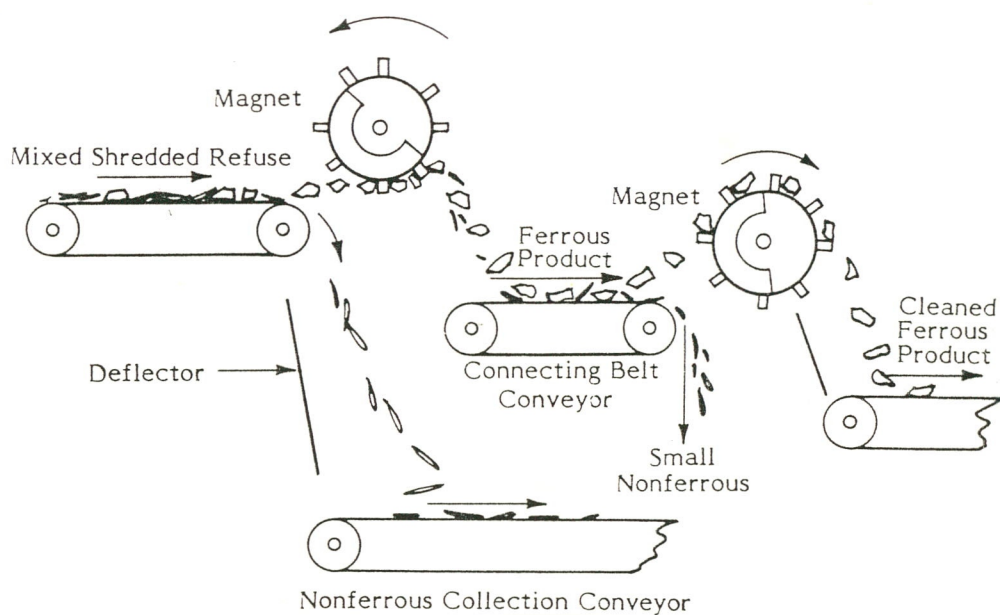
HGMS: HGMS scheiders zijn leverbaar met 1 tot 8 voedingspunten per scheider met capaciteiten tot 400 ton per uur. Uiteraard is er ook kleinere apparatuur verkrijgbaar.

Eddy-current technieken: Conventionele eddy-current scheiders met een vlakke hellende plaat hebben een capaciteit van ongeveer 0,3 ton per uur per meter plaatbreedte bij een maximale plaatbreedte van ongeveer 1,3 m. Scheiders met gegolfde platen en een visgraatstructuur in de magneetstroken, de corrugated ramp separator (zie figuur 5), hebben een capaciteit van ca. 3 ton per uur per meter plaatbreedte. De maximale capaciteit van de eddy-current scheiders is wel afhankelijk van de aard van het materiaal. Zo is het met een 0,15 m brede bak met een vlakke plaat mogelijk aluminium af te scheiden uit kunststof (PET) shreddermateriaal met een capaciteit van 60 kg/uur terwijl met een even brede plaat 300 kg/uur van een koper/lood mengsel verwerkt kan worden. Het grote verschil zit in de dichtheid van het materiaal.

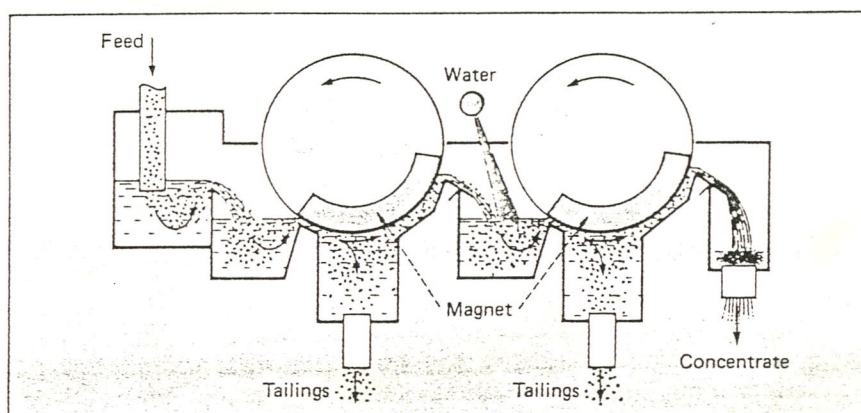
Electrostatistische technieken: de apparatuur kan in zeer verschillende capaciteiten geleverd worden. De capaciteiten zijn van 2 ton/uur voor het zuiveren van metaalpoeders tot 1000 ton ingangsmateriaal per uur in de ertsverwerkende industrie.

Literatuur

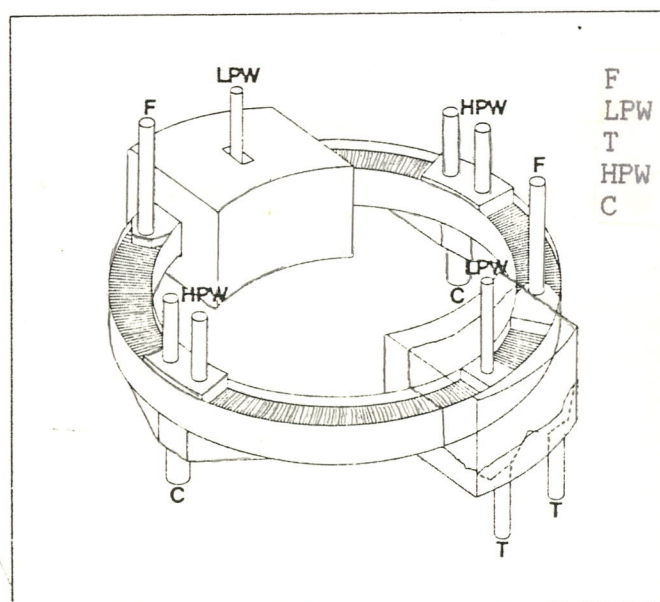
- Processen voor hergebruik van afvalstoffen met zware metalen.
TNO-rapport nr. 87-158
- Precious metals recovery from electronic scrap.
F. Ambrose, B.W. Dunning, Proceedings of the seventh Mineral Waste Utilization Symposium, 20-21 october 1980, Chicago, Illinois.
- Purification, do it with magnets.
W.J. Bronkala, Chemical Engineering, march 14 1988, p. 133-8.
- Wet separation of paramagnetic minerals.
I.S. Wells, The Chemical Engineer, nov 1982, p. 424-7.
- NE-Metal-Recycling aus Abfall.
A. Urban, Metall 36 (2) p. 179-81 (1982).
- Non-ferrous metal separators for small particles.
E. Schloemann, M. Reiner, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. Mag. 15 (6), p. 1535-37 (1979).
- Wervelstroom/eddy-current - magneten.
Recycling dec. 1985/jan. 1986 p. 91.
- Recovery of non-ferrous metals from waste using an eddy-current separator with rotating permanent samarium-cobalt magnets.
B.C. Braam, W.L. Dalmijn, W.P.C. Duyvesteyn,
1985 International Symposium on Recycle and Secondary Metals, 3 dec. 1985, Fort Lauderdale, Florida, USA.
- The processing of non-magnetic fractions from shredded scrap. -Review-
A. Melin, M. Rousseau, Materials and Energy from Refuse, Third International Symposium, Antwerp, Belgium, 18-20 march 1986.
- Eddy-current techniques for segregating nonferrous metals from wastes.
E. Schloemann, Conservation and Recycling, 5, (2/3) p. 149-62 (1982).
- Perry's Chemical Engineers' Handbook, sixth edition
McGraw-Hill Book Company, New York, USA.



Figuur 1: Meervoudige trommel scheider.

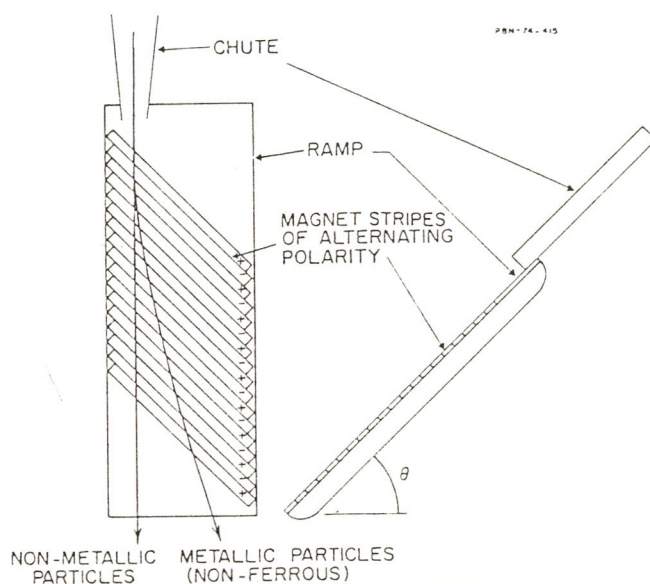


Figuur 2: Dubbele drum, nat magnetische scheider.

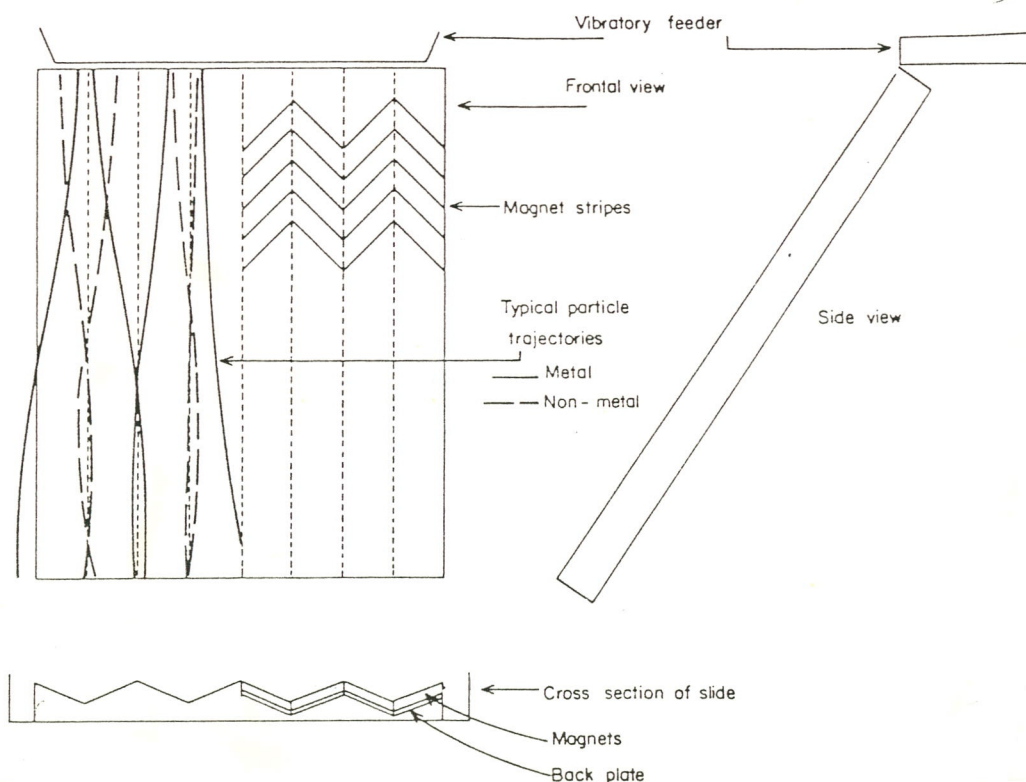


F voeding suspensie
 LPW lage druk waswater
 T niet magnetisch materiaal
 HPW hoge druk spoelwater
 C magnetisch concentraat

Figuur 3: Schematische weergave van een HGMS scheider.



Figuur 4: Schematische weergave van een eddy-current scheider, voor aanzicht (links) en zij aanzicht (rechts). Niet geleidende deeltjes glijden recht naar beneden en geleidende deeltjes worden afgebogen zoals aangegeven in de figuur.



Figuur 5: Hoge capaciteit non-ferrometaal scheider (corrugated ramp separator).

Bijlage V: Geavanceerde en overige fysische technieken

Deze groep bevat de volgende technieken:

1. Handsorteren
2. Automatisch sorteren
3. Handmatig slopen
4. Automatisch ontmantelen
5. Gemechaniseerd slopen

In het navolgende zal een inventarisatie van bovengenoemde beschikbare technieken plaatsvinden. Hierbij wordt van de volgende combinaties van afvalstromen uitgegaan:

- Nonferro metaal/Kunststof (NF/K)
- Kunststof/Kunststof (K/K)
- Nonferro metaal/Nonferro metaal (NF/NF)

1. Op welke soort afval/stromen zijn deze technieken van toepassing ?

In principe kunnen alle genoemde technieken worden gebruikt voor het afscheiden van materialen/deeltjes uit de drie bovenstaande combinaties van afvalstromen. Voor de eerste twee technieken geldt dat zij over het algemeen vooraf worden gegaan door een ontmantelings- of verkleiningsstap van de afvalstroom.

2. Het doel/werkingsprincipe van iedere techniek

De sorteertechnieken berusten op het principe dat van een massastroom deeltje voor deeltje wordt bekeken, waarna eventueel na herkenning een afscheiding plaatsvindt.

Handsorteren

Handsorteren is het met de hand sorteren/scheiden van vaste materialen/deeltjes, op grond van verschillen in materiaal, kleur, vorm, grootte, etc.

Automatisch sorteren

Het scheiden van vaste stoffen uit een mengsel op basis van verschillen in een of andere eigenschap. Automatisch sorteren kan plaatsvinden op basis van verschillen in optische eigenschappen van de deeltjes, verschillen in grootte, vorm, oppervlakte ruwheid, etc.

De sloop-/ontmantelingstechnieken berusten op het principe dat een (complex) samengesteld produkt met de hand of geautomatiseerd selectief uit elkaar wordt gehaald. Ook hier dienen de te verwijderen onderdelen/materialen eerst herkend te worden.

Handmatig slopen

Het met de hand en/of eenvoudig gereedschap slopen/ontmantelen van (al

dan niet) complex samengestelde produkten.

Automatisch ontmantelen

Automatisch ontmantelen is het selektief automatisch demonteren van een of ander, (complex) samengesteld produkt, nadat eerst een herkenningstap heeft plaatsgevonden.

Gemechaniseerd slopen

Gemechaniseerd slopen zou het overgangsgebied tussen handmatig slopen en automatisch ontmantelen kunnen worden genoemd; hierbij kunnen of speciaal ontwikkelde gereedschappen worden ingezet of sommige menselijke handelingen worden gemechaniseerd.

3. De typen af te scheiden materialen

In principe zijn alle in deze groep genoemde technieken geschikt voor het afscheiden van nonferro metalen, kunststoffen of beiden. Zoals reeds onder punt 1 is vermeld, is het voor het sorteren met behulp van de technieken 1 en 2 nodig dat eerst een ontmantelings- c.q. verkleiningsstap heeft plaatsgevonden, als de componenten in de afvalstroom niet los van elkaar zijn.

4. Korte beschrijving van de technieken

Handsorteren

Handsorteren is het met de hand sorteren/scheiden van vaste voorwerpen/materialen/deeltjes op grond van bepaalde criteria. Deze criteria kunnen zijn: Verschillen in materiaal, kleur, vorm, grootte, etc.

Het sorteren/afcheiden kan geschieden op basis van:

- a) Positieve herkenning: De af te scheiden voorwerpen/materialen/deeltjes worden uit de afvalstroom verwijderd.
- b) Negatieve herkenning: De verontreinigingen worden uit de afvalstroom verwijderd.

Over het algemeen zal handsorteren worden uitgevoerd door personen, die aan een lopende band staan.

Automatisch sorteren

Het sorteren kan deels of geheel geautomatiseerd zijn. Metaaldeeltjes bijvoorbeeld kunnen op grond van verschillen in optische eigenschappen worden gescheiden; onder optische eigenschappen kunnen onder andere worden verstaan: Kleur, terugkaatsing van licht, lichtdoorlaatbaarheid, verschillen in warmtegeleiding (infrarood detectie) en fluorescentie, opgewekt door ultra-violette of rontgen straling (metaal-detectie). Een andere scheidingsoptie is het gebruikmaken van verschillen in elektrisch geleidingsvermogen.

Nadat met een geschikte sensor deeltjes in een stroom zijn gedetecteerd, kunnen zij met behulp van blaas-, mechanische- of andere technieken, met absolute zuiverheid worden teruggewonnen.

Het systeem omvat dus twee stappen: In de eerste plaats herkenning en in de tweede plaats een selektieve afscheiding.

Voor een goede sortering dienen alle deeltjes stuk voor stuk door de

sensor te worden "gezien".

In de figuren 1, 2 en 3 zijn enige automatische sorteersystemen weergegeven.

Handmatig slopen

Handmatig slopen vindt met de hand of met behulp van eenvoudig gereedschap plaats om zodoende (al dan niet) complex samengestelde produkten te ontmantelen.

Op deze wijze worden de samengestelde produkten verdeeld in verschillende fracties, die in een volgende stap al dan niet verder worden verwerkt.

Automatisch ontmantelen

Lijnrecht tegenover het handmatig slopen staat automatisch ontmantelen; hieronder wordt verstaan het selektief automatisch demonteren van een (al dan niet) complex samengesteld produkt, nadat eerst een herkenningstap heeft plaatsgevonden. Het voordeel van automatisch ontmantelen, dat uit een herkennings- en een ontmantelingsstap bestaat, ten opzichte van handmatig slopen is, dat enerzijds een hogere produktiviteit is te realiseren en anderzijds mogelijk monotoon werk voorkomen wordt.

Voordat automatisch ontmantelen een volwassen afvalverwerkingstechniek is, vallen er echter (zie ook punt 5) nog heel wat problemen op te lossen.

Gemechaniseerd slopen

Het overgangsgebied tussen handmatig slopen en automatisch ontmantelen is gemechaniseerd slopen. Hierbij valt te denken aan het ontwikkelen van speciale gereedschappen om bepaalde handmatige sloopwerkzaamheden te vergemakkelijken en aldus de produktiviteit te verhogen. Verder kan gedacht worden aan het mechaniseren van bepaalde menselijke handelingen, hetgeen ook de produktiviteit ten goede komt.

5. Ontwikkelingsstadium

De technieken 1, 2, 3 en 5 worden momenteel in de praktijk toegepast. Techniek 4, automatisch ontmantelen, is op dit moment nog in ontwikkeling. Aan de hand van een voorbeeld wordt gepoogd duidelijk te maken met wat voor problemen deze techniek te maken heeft.

Er zijn ideeën om bijvoorbeeld een auto, die tegenwoordig met behulp van robots gefabriceerd kan worden, op het moment dat hij in het afdankstadium terechtkomt ook weer door robots te laten ontmantelen; om selektief ontmantelen mogelijk te maken dienen door sensoren specifieke onderdelen te worden herkend, hetgeen betekent dat enerzijds standaardisatie van onderdelen automatisering vergemakkelijkt en dat anderzijds het probleemveld zich uitstrekt tot het gebied van de flexibele automatisering.

6. Technologische randvoorwaarden en rendement

Voor de technieken handsorteren en automatisch sorteren geldt dat de deeltjes los van elkaar moeten zijn, hetgeen betekent dat er mogelijk-kerwijs voorafgaand een voorberekingsstap, zoals verkleinen, moet hebben plaatsgevonden.

Verder gelden voor de afzonderlijke technieken de volgende randvoorwaarden:

- Alle onderdelen/deeltjes dienen stuk voor stuk gezien te worden, hetgeen betekent dat de capaciteit relatief gezien laag zal zijn: Automatisch sorteren en automatisch ontmantelen.
- Voor de technieken handsorteren, handmatig slopen en gemechaniseerd slopen geldt net als voor de twee geautomatiseerde technieken dat alle delen/onderdelen gezien moeten worden, echter in dit geval niet door een sensor maar door het menselijk oog. Dit stelt eisen aan de herkenbaarheid/onderscheid van deeltjes, hetgeen ook direkt gevolgen heeft voor de capaciteitsmogelijkheden.

Rendement:

In principe zijn de rendementen voor alle technieken tot 100 % op te voeren.

7. Toepassingsgebieden

Handsorteren

Handsorteren wordt momenteel toegepast voor het scheiden van componenten, zoals nonferro's uit bulkafvallen, zoals bouw- en sloopafval, shredderafval en fracties uit huishoudelijk afval.

Verder wordt momenteel wit glas verkregen door het met de hand te scheiden uit een mengsel ingezamelde flessen.

Automatisch sorteren

Automatische sorteertechnieken worden ontwikkeld voor het scheiden van metaalmengsels, metalen uit shredderafval, metalen van glas etc.

Op het ogenblik worden ook automatische sorteerdere ontwikkeld, om zoals hier boven is vermeld wit glas te scheiden van gekleurd glas.

Handmatig slopen

Handmatig slopen wordt vooral toegepast bij het verwerken van oude auto's en verder huishoudelijke apparaten (o.a. wasmachines), audio/video-apparatuur (o.a. kleuren TV's) en kantoorapparatuur (o.a. computers).

Automatisch ontmantelen

Deze techniek wordt, voor zover bekend, nog nergens op praktijkschaal toegepast.

Gemechaniseerd slopen

Gemechaniseerd slopen wordt vooral daar ontwikkeld waar ook al handmatig slopen plaatsvindt.

8. Resterende afvalproblematiek

De resterende afvalproblematiek is afhankelijk van de te verwerken stromen. Door het sorteren of selectief ontmantelen ontstaan verschillende fracties. Fracties, die niet verder worden verwerkt en geen waarde hebben, kunnen als afval worden beschouwd.

9. Kosten en baten per ton ingangsmateriaal

Van geen van de in deze groep beschreven technieken zijn directe kosten per ton ingangsmateriaal bekend; de te verwachten kosten van de technieken kunnen echter wel met elkaar worden vergeleken.

Handsorteren

De kosten van handsorteren worden grotendeels bepaald door personele kosten. De personele kosten per ton verwerkt materiaal hangen af van het feit of de verwijdering/afscheiding van deeltjes/materialen plaatsvindt op basis van positieve of negatieve herkenning. In het geval van negatieve herkenning, waarbij over het algemeen een stroom gesorteerd wordt waar slechts weinig verontreinigingen in aanwezig zijn, zal de doorzet relatief hoog kunnen zijn, hetgeen betekent dat de personele kosten per ton ingangsmateriaal relatief laag zijn.

Wanneer dezelfde stroom op basis van positieve herkenning gesorteerd wordt, en dus veel deeltjes/materialen uit de stroom verwijderd dienen te worden, zal de doorzet relatief laag zijn en aldus de personele kosten relatief hoog. Relatief hoge baten dienen er daarom tegenover te staan.

Automatisch sorteren

Aangezien alle deeltjes stuk voor stuk door een sensor gezien moeten worden, zal de capaciteit altijd relatief laag zijn, waardoor de werkingskosten relatief hoog zijn.

Handmatig slopen, gemechaniseerd slopen

De kosten van beide technieken worden voor het grootste deel bepaald door de personele kosten. Het moge duidelijk zijn dat door het mechaniseren van bepaalde menselijke handelingen of het ontwikkelen van speciaal gereedschap, hogere produktiviteiten zijn te realiseren, waardoor de personele kosten per ton te verwerken ingangsmateriaal lager zullen zijn voor gemechaniseerd dan voor handmatig slopen.

Automatisch ontmantelen

Voor automatisch ontmantelen zullen dezelfde overwegingen gelden als voor automatisch sorteren.

10. Capaciteit van de techniek

Afgezien van de techniek automatisch sorteren zullen er in deze paragraaf geen kwantitatieve gegevens worden vermeld.

Handsorteren

Afhankelijk van het feit of er gesorteerd wordt op basis van positieve of negatieve herkenning zal de capaciteit respektievelijk relatief laag of hoog zijn.

Automatisch sorteren

De technieken (en dus ook de apparatuur), die onder de noemer automatisch sorteren vallen, verschillen nogal van elkaar; dit betekent dat per techniek de capaciteit in een geheel andere range zou kunnen vallen. Een voorbeeld van een sorteer apparaat met relatief hoge capaciteit dat werkt op basis van verschillen in geleidingsvermogen van de te scheiden stoffen kan ongeveer 25 ton/uur verwerken. Doordat bij deze techniek de deeltjes stuk voor stuk moeten worden bekeken, zal er altijd sprake zijn van een relatief lage capaciteit.

Handmatig slopen

Voor handmatig slopen geldt in principe hetzelfde als voor handsorteren.

Automatisch ontmantelen

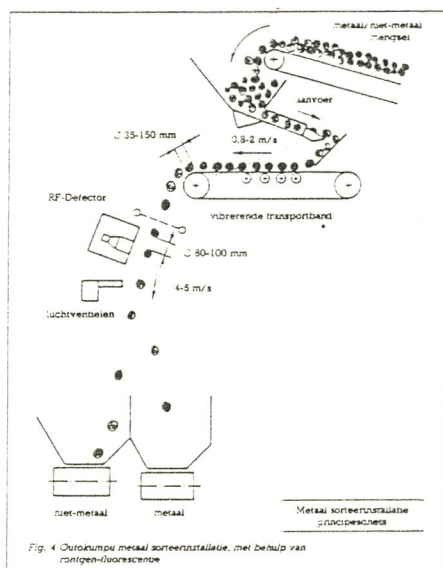
Evenals voor automatisch sorteren geldt dat, vanwege het feit dat alle deeltjes stuk voor stuk door een sensor moeten worden bekeken, er altijd sprake zal zijn van een relatief lage capaciteit.

Gemechaniseerd slopen

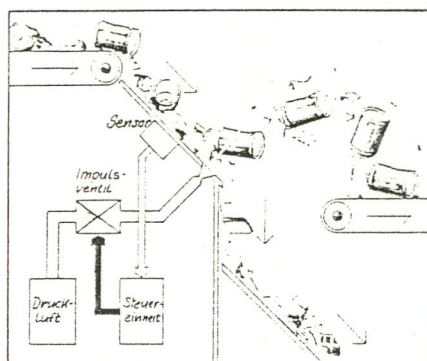
Zie "Handmatig slopen"; doordat bepaalde menselijke handelingen vervangen zijn door mechanische of doordat speciaal gereedschap is ontwikkeld, zal met gemechaniseerd slopen een hogere capaciteit te realiseren zijn dan met handmatig slopen.

Literatuur

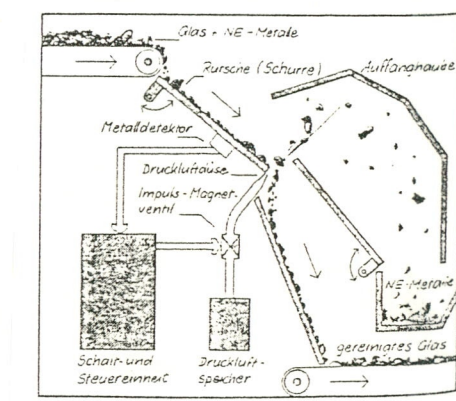
- Perry's Chemical Engineers Handbook
- Artikel: "Metaalscheidingstechnieken", Recycling april/mei 1988
- Artikel: "Scheiding van nonferro metalen, nat of droog, of op 't oog?", Recycling juni/juli 1986



Figuur 1: Een metaal sorteerinstallatie met behulp van röntgen-fluorescentie



Figuur 2: ELPAC-procedure om blik (o.i.d.) uit huisvuil te verwijderen



Figuur 3: ELPAC-procede om glas en nonferro metalen te scheiden

Bijlage VI: Thermische technieken.

De belangrijkste technieken uit deze groep zijn:

- | | | | |
|---|-----------|---|-----------------|
| 1 | pyrolyse | 3 | verbranden |
| 2 | vergassen | 4 | pyrometallurgie |

1. Op welke soort afval/stromen van toepassing.

Technieken 1 t/m 3: alle afvalstromen die kunststoffen bevatten.

Pyrometallurgie: afvalstromen bestaande uit non-ferrometalen.

2. Doel/werkingsprincipe van de techniek.

Pyrolyse: het afbreken van de kunststof, onder toevoeging van warmte maar zonder toevoeging van zuurstof, tot tussenproducten, vloeibare (en gasvormige) energiedragers, energie, water, kool en as.

Vergassen: het afbreken van een kunststof tot een brandbaar gas, water en as door middel van thermische en chemische ontleding onder toevoeging van bijvoorbeeld stoom of een stoechiometrische ondermaat zuurstof of lucht.

Verbranden: het afbreken van kunststof, onder vorming van verbrandingsgassen, water en as, door het toevoegen van een overmaat zuurstof of lucht onder hoge temperatuur.

Pyrometallurgie: het scheiden van non-ferrometalen door gebruik te maken van verschil in smeltpunt van de metalen of door gebruik te maken van de mogelijkheid om bepaalde metalen of metaalverbindingen te verdampen.

3. Typen af te scheiden materialen.

Technieken 1 t/m 3: Bij lage kunststofgehaltes, en hoge non-ferro gehalten, kunnen de technieken gebruikt worden om de kunststof van het metaal te verwijderen, het metaal is op dat ogenblik de belangrijkste component. Na de toepassing van de technieken blijft als vast materiaal een mengsel van non-ferro's en as en/of koolresten over. Dit vaste materiaal dient eventueel van het non-ferrometaal (of mengsel van non-ferro's) verwijderd te worden.

Als het gehalte aan non-ferrometalen laag is, kunnen de technieken toegepast worden om de kunststof te verwerken, de kunststof is dan de belangrijkste component. Gaat het echter om een kleine hoeveelheid waardevolle en/of strategische metalen, en veel kunststof, dan is het ook mogelijk dat de kunststof wordt verwijderd om de metalen te kunnen winnen.

Pyrometallurgie: alleen geschikt voor de scheiding van (non-ferro)-metalen.

4. Korte beschrijving van de technieken.

De technieken binnen deze groep hebben als overeenkomst dat hoge temperaturen worden toegepast, pyrolyse 300 - 1000 °C, vergassen 800 - 1600 °C, verbranden 800 - 1000 °C en pyrometallurgie 225 - 1500 °C.

Pyrolyse: Bij pyrolyse wordt de kunststof afgebroken tot een mengsel van vloeibare energiedragers (olie en/of teer), chemische tussenproducten, gassen en een vast residu bestaande uit as en koolresten, zie figuur 1. Er wordt géén zuurstof toegevoegd. De samenstelling en de aard van de pyrolyseproducten hangt sterk af van de samenstelling van het te pyrolyseren materiaal. Bij het pyrolyseren van kunststoffen kan het hoofdproduct in principe uit vloeibare grondstoffen voor de chemische industrie bestaan. In de praktijk voldoen de producten echter (vaak) niet aan de kwaliteitseisen voor de chemische industrie zodat ze alleen als energiedrager (brandstof) gebruikt kunnen worden. Als nevenproducten ontstaan brandbaar gas en (actieve) kool. Pyrolyse van rubber levert hoofdzakelijk vloeibare tussenproducten (olie) en roet; (actieve) kool ontstaat alleen onder speciale condities.

Vergassen: Het vergassingsproces gaat een stap verder dan het pyrolyseproces. Door het toevoegen van een reactief gas, bijvoorbeeld stoom of een stoechiometrische ondermaat aan zuurstof of lucht, worden de vloeibare tussenproducten verder omgezet in brandbare gassen, onder andere waterstof en koolmonoxide. In het temperatuurtraject tussen 1400 en 1600 °C treedt, bij afwezigheid van zuurstof, reductie op waarbij overgebleven koolresten met CO₂ en H₂O regeren onder de vorming van H₂ en CO.

Verbranden: De verbranding is het meest vergaande thermische proces voor het verwerken van kunststoffen, figuur 2. Door het toevoegen van een overmaat zuurstof onder hoge temperatuur ontstaan er alleen verbrandingsgassen, as en thermische energie.

Pyrometallurgie: In de pyrometallurgie wordt een mengsel van (non-ferro)metalen in een oven zover verhit dat de temperatuur boven het smeltpunt van een metaal komt waarna het metaal in vloeibare vorm afgescheiden wordt, zie figuur 4. Dit metaal is over het algemeen niet zuiver maar kan, afhankelijk van de zuiverheid van het uitgangsmateriaal, nog tot 30 % verontreinigingen bevatten. Een voorbeeld hiervan is een metaalmengsel met 30 - 35 % koper dat in een blast-furnace opgewerkt wordt tot een product met 70 - 80 % koper terwijl in een converter-oven het kopergehalte opgevoerd kan worden van 70 - 80 % naar 97 - 98 %. Dit voorbeeld geeft ook aan dat voor verschillende uitgangsmaterialen verschillende oventypes nodig zijn. Door een mengsel met een groot aantal metalen bij verschillende temperaturen te behandelen kan dit mengsel gescheiden worden in fracties die allemaal slechts een klein percentage aan verontreinigingen bezitten. Het is met deze techniek ook mogelijk om een laag smeltend metaal van een hoog smeltend metaal te verwijderen, bijvoorbeeld het verwijderen van tin uit blikafval.

Behalve het smeltpunt kan ook een andere eigenschap, zoals de vluchtigheid van sommige metalen (bv. tin, zink, kwik, lood en cadmium) of metaalverbindingen (bv. aluminiumchloride) voor een afscheiding zorgdragen. Bij afkoelen van de damp ontstaan zuivere metalen of metaalverbindingen. Dit wordt bijvoorbeeld toegepast bij de vacuum-destillatie van metalen. Op deze manier kunnen bij een schrootsmelt de koper en tin concentraties terug gebracht worden van resp. 0,4 en 0,4 % naar resp. 0,1 en 0,05 %. De destillatie vindt

plaats bij een temperatuur van 1600 - 1800 °C en een druk van 10 Pa.

5. Ontwikkelingsstadium.

- a. Technieken die reeds veel toegepast worden bij afvalverwerking of op een ander werkgebied:
 - 1: pyrolyse van huishoudelijk afval, kunststoffen en rubber.
 - 2: vergassing van huishoudelijk afval, kunststoffen en rubber.
 - 3: verbranding van diverse soorten afval.
 - 4: metaalwinning en de verwerking van metaalafval.
- b. Technieken die nog in het onderzoeks- en ontwikkelingsstadium zijn:
 - 1: pyrolyse van kunststoffen met de bedoeling om hoogwaardige tussenproducten voor de chemische industrie te verkrijgen in plaats van slechts vloeibare energiedragers.
 - 3: vacuum-distillatie van metalen.

6. Technologische randvoorwaarden/rendement.

Bij de toepassing van de technieken 1 t/m 3 op kunststof in de aanwezigheid van non-ferrometalen kunnen vluchtige non-ferrometalen en metaalverbindingen in de gasfase komen. Dit betekent dat de gasfase op een speciale manier behandeld moet worden om emissies van metalen tegen te gaan. Bovendien kunnen bij hoge temperaturen metalen gaan smelten zodat vloeibaar metaal onder in de oven terecht komt. De kans dat een metaal gaat verdampen of smelten, is groter naarmate de temperatuur hoger is. Het zal bij vergassing dus eerder voorkomen dan bij pyrolyse. Bij de afbraak van de kunststoffen komen ook alle toeslagstoffen, bijvoorbeeld vulstoffen, brandvertragers, stabilisatoren en pigmenten, vrij. Deze materialen kunnen als verontreinigingen in de diverse productstromen voorkomen en zullen verwijderd moeten worden. Een belangrijke voorwaarde bij de toepassing van thermische technieken is een laag vochtgehalte van de afvalstroom. Een hoog vochtgehalte betekent dat er veel energie nodig is voor het verwijderen van het water voordat het materiaal goed op temperatuur gebracht kan worden.

Pyrolyse: de zuiverheid van de invoerstroom is van groot belang. Als de invoerstroom uit een mengsel van een aantal kunststoffen bestaat, dan zal ook het pyrolyseproduct uit een (groot) aantal verschillende stoffen bestaan. Alleen als dit mengsel eenvoudig te scheiden is, kunnen componenten ervan gebruikt worden als tussenproduct voor de chemische industrie. Bij een moeilijke scheiding is het pyrolyseproduct alleen te gebruiken als energie drager. Verder is ook het pyrolyserendement afhankelijk van de samenstelling van de kunststof.

Vergassen: uiteraard is ook hier de aard en de zuiverheid van het materiaal belangrijk. Dit bepaalt onder andere de keuze van het reactieve gas (en de hoeveelheid hiervan) dat voor de vergassing gebruikt wordt. Door de aanwezigheid van zuurstof kunnen aanwezige metalen omgezet worden in metaaloxiden die de verdere scheiding van de metalen bemoeilijken.

Verbranden: bij de aanwezigheid van non-ferrometalen tijdens de verbranding van kunststoffen kunnen, door de hoge temperatuur en de

aanwezigheid van zuurstof, metaaloxiden ontstaan die later een scheiding tussen metalen onderling bemoeilijkt dan wel onmogelijk maakt.

Pyrometallurgie: de ovens die in de pyrometallurgie gebruikt worden, worden ontworpen voor een bepaalde metaalsamenstelling en temperatuurgebied. Dit betekent dat er eisen gesteld moeten worden aan de samenstelling van het toegevoerde materiaal wil een bepaalde zuiverheid van het eindproduct haalbaar zijn.

7. Toepassingsgebied.

Technieken 1 tot en met 3 worden toegepast op kunststoffen eventueel in combinatie met non-ferrometalen. Afhankelijk van de concentratie aan kunststoffen in de voeding en de samenstelling van de metaalfraction kunnen de technieken toegepast worden om de kunststof te verwerken, of om de kunststof te verwijderen van het metaal zodat een metaal fractie zonder aanhangend kunststof overblijft. Coatings vormen een voorbeeld van lage concentraties kunststof in combinatie met metaal of metalen waar de technieken op toegepast kunnen worden.

Pyrometallurgie wordt alleen toegepast op mengsel van non-ferrometalen. Omdat voor een goede werking van de oven de voeding aan een bepaalde samenstelling moet voldoen, is vaak een meertraps proces noodzakelijk om een voldoende hoge zuiverheid van een product te verkrijgen. In dat meertraps proces kunnen verschillende oventypes voorkomen.

8. Resterende afvalproblematiek.

Pyrolyse: als vast afval blijven as en koolresten achter. De as bevat onder andere resten van de toeslagstoffen (bv. vulstoffen en pigmenten). Bij pyrolyse van kunststof/non-ferro combinaties kunnen de kool en as achterblijven in de vorm van een afzetting op de non-ferro's, terwijl de as een relatief hoge concentratie aan metalen bezit. Het vloeibare afval bestaat uit een verontreinigde waterstroom en mogelijk een olie/teer product, die vanwege de aanwezige verontreinigingen als afval aangemerkt dient te worden. Afhankelijk van de samenstelling van de kunststof, bv. voor halogeen bevattende kunststoffen, kan het ontstane pyrolysegas schadelijke componenten bevatten. De gasfase kan bovendien vluchtige metalen en metaalverbindingen bevatten. De verontreinigingen in de waterfase en de gasfase kunnen ook afkomstig zijn van (de afbraak van) de toeslagstoffen aanwezig in de kunststof.

Vergassen: het vaste afval bestaat hier alleen uit as (oa. resten van toeslagstoffen), dat bij aanwezigheid van non-ferrometalen afgezet kan zijn op de metalen en tevens een hoge concentratie aan metalen kan bevatten. Er ontstaat, net als bij pyrolyse, een verontreinigde waterstroom afkomstig van de condensatie van de waterdamp dat tijdens de pyrolyse ontstaat. Afhankelijk van de samenstelling van de kunststof kan het geproduceerde gas verschillende verontreinigingen (bv. H_2S , HCl , NH_3 en HCN) bevatten die, voordat het gas verder gebruikt kan worden, verwijderd dienen te worden. De verontreinigingen in gas- en waterfase kunnen gedeeltelijk afkomstig zijn van de toeslagstoffen aanwezig in de kunststof. Bij hoge temperaturen kunnen vluchtige metalen en metaalverbindingen in de gasfase komen. De kans

dat dit gebeurt is groter naarmate de temperatuur hoger is. Bij condensatie van de waterdamp uit de gasfase kunnen aanwezige metalen en metaalverbindingen in het condens terech komen.

Verbranden: bij verbranding ontstaat als vast afval alleen as, dat bij de aanwezigheid van non-ferro's, een hoge concentratie aan metalen kan bezitten. Verder ontstaan alleen verbrandingsgassen. Deze gassen kunnen, afhankelijk van de samenstelling van de kunststof, schadelijke componenten bevatten. Een deel van de schadelijke stoffen kan zich, bij afkoeling van de rookgassen, ophopen in het gevormde condens. Hierdoor ontstaat een verontreinigde waterige afvalstroom. Aangezien ook hier vluchtige metalen en/of metaalverbindingen in de gasfase kunnen voorkomen kan de waterige afvalstroom verontreinigd zijn met metalen.

Pyrometallurgie: de resterende afvallen van pyrometallurgische ovens zijn sterk afhankelijk van de zuiverheid/samenstelling van het ingangsproduct. Ook is de hoedanigheid ervan afhankelijk van het aantal stappen dat uitgevoerd wordt. Als bijvoorbeeld een mengsel van lood, koper, zink en een aantal verontreinigingen alleen bij 320 °C behandeld wordt (afscheiding lood en laag smeltende verontreinigingen), kan een zink/koper mengsel overblijven dat niet verder toegepast kan worden. Bij een extra behandeling bij 430 °C kan ook nog zink gewonnen worden, terwijl het overblijvende zink/koper mengsel in de messingindustrie ingezet kan worden (figuur 4). Het vaste residu bestaat uit niet verwijderde metalen, metaaloxides en verontreinigingen die reeds in de voeding voor kwamen. De rookgassen van de ovens bestaan voornamelijk uit verbrandingsgassen welke ontstaan tijdens de opwekking van de warmte nodig voor het smelten van de metalen. Dit verbrandingsgas kan bovendien stof, vluchtige metalen en/of metaalverbindingen en eventueel reactieproducten van de aanwezige verontreinigingen bevatten.

9. Kosten (baten) per ton ingangsmateriaal.

Technieken 1 en 2: De kosten van pyrolyse en vergassen liggen tussen fl. 120 en fl. 220 per ton toegevoerd materiaal (1980); dit geldt voor het verwerken van huishoudelijk afval. Als de technieken worden gebruikt voor het verwijderen van een kleine hoeveelheid kunststof van non-ferrometalen zullen de kosten hoger zijn, fl. 200 tot fl. 300 per ton. De baten van de processen zijn sterk afhankelijk van de producten die gevormd worden. Gasvormige energiedragers worden voornamelijk gebruikt voor het opwekken van warmte en electriciteit. Dit betekent dat de waarde van het gas bepaald wordt door de calorische waarde en de zuiverheid van het gas. De waarde van de vloeibare pyrolyse-olie varieert van fl. 130 tot fl. 300 per ton, afhankelijk van de samenstelling. De hoeveelheid en de samenstelling van dit product wordt bepaald door de samenstelling van het toegevoerde materiaal.

Verbranden: De kosten voor verbranden van kunststof ligt in de orde van fl. 75 tot fl. 100 per ton. De baten van het proces bestaat uit de benutting van de opgewekte warmte die tijdens de verbranding ontstaat, deze warmte kan eventueel in electriciteit omgezet worden. De hoeveelheid warmte is afhankelijk van de calorische waarde van de kunststof.

Bij bovenstaande kosten is er van uitgegaan dat de technieken 1 t/m 3

worden gebruikt voor het verwerken van alleen kunststof. Als de technieken worden toegepast om een kunststof verontreiniging uit een afvalstroom met voornamelijk non-ferrometalen te verwijderen, dan zullen de kosten afwijken terwijl de baten aan warmte en energiedragers klein zullen zijn. In dat geval bestaan de baten uit het verkrijgen van een non-ferrometaal (of metalen mengsel) met een beter te verwijderen verontreiniging (koolresten en as).

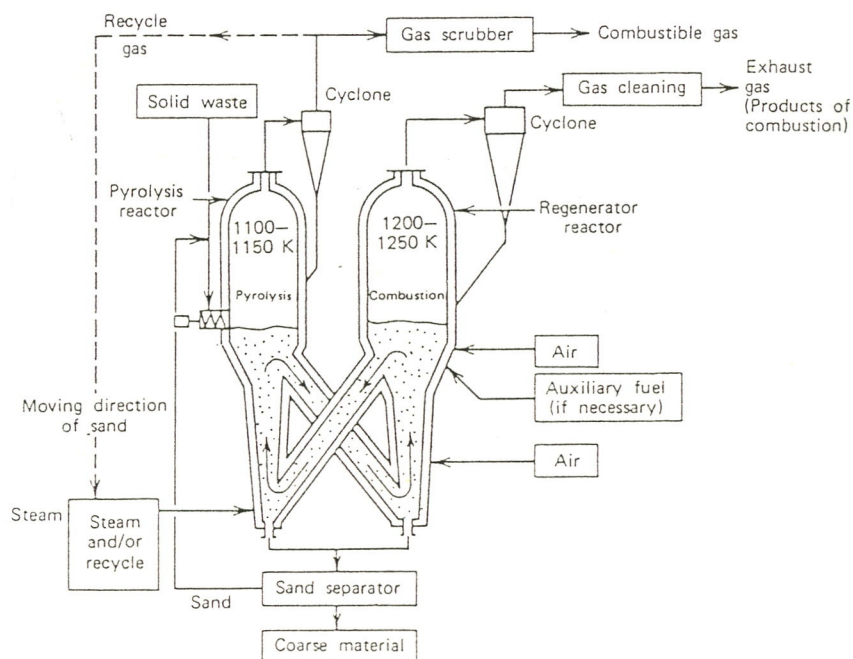
Pyrometallurgie: De kosten bij pyrometallurgie bestaan voor een groot deel uit de stookkosten voor de ovens. Deze kosten zijn afhankelijk van de samenstelling van het toegevoerde materiaal. Naarmate het smeltpunt hoger ligt zullen ook de kosten hoger zijn. De kosten bedragen ongeveer fl. 30 tot fl. 60 per ton voor de verwerking van een loodhoudend afval (ca. 38 gewichts% lood), dit komt neer op fl. 80 tot fl. 160 per ton gewonnen lood. Als de techniek wordt toegepast om een aantal hoog smeltende metalen te scheiden, zullen de kosten sterk oplopen, tot fl. 100 - fl. 1000 per ton gewonnen metaal. De baten, de opbrengst aan gezuiverd metaal, zullen dan waarschijnlijk ook hoger zijn. Het winnen van een ton koper uit erts, inclusief "mining", "processing" en "melting", kost bv. \$ 1280. Voor het opwerken van aluminiumafval is aan energie 3300 tot 7200 MJ per ton geproduceerd aluminium nodig. Als deze hoeveelheid energie alleen door elektrische energie geleverd wordt, betekent dit dat per ton aluminium 920 tot 2000 kWh aan stroom nodig is; kosten fl. 230 tot fl. 500.

10. Capaciteit.

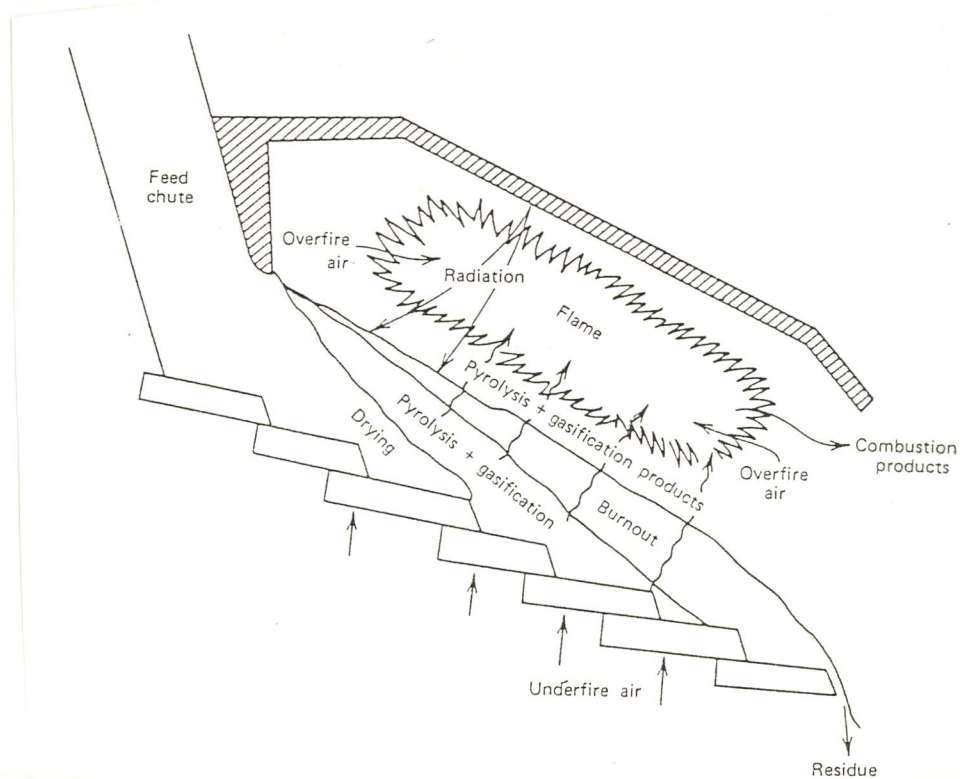
De thermische processen kunnen in het algemeen in elke gewenste capaciteit uitgevoerd worden. Pyrolyse en vergassing van hout wordt op een schaal van 5 ton per uur reeds uitgevoerd. Pyrometallurgie wordt in de metaalwinning toegepast op een schaal van duizenden tonnen erts per dag, terwijl in de non-ferroafvalverwerkende industrie capaciteiten van 1 tot 10 ton per uur voorkomen.

Literatuur

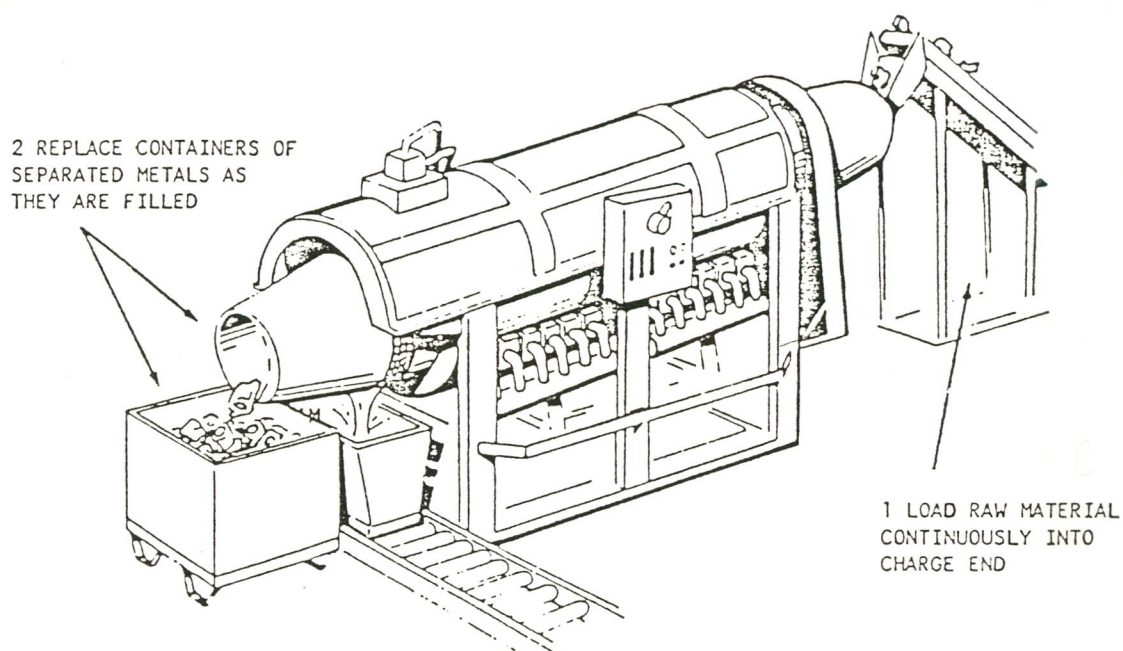
- Reclamation of non-ferrous metals from wastes. D.V. Jackson, Process Technology International, 18, 8/9 (1973) p. 329-30
- 4. Mülltechnisches Seminar "Behandlung und Verwertung von Metallhaltigen Rückständen". Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Institut für Bauingenieurwesen V, Technische Universität München. (1981)
- Weissblech Recycling 1982. Informations-Zentrum Wiessblech, Düsseldorf
- Raw Materials, part II: Recycling of non-ferrous metals (feb. 1979) Commision of the European Communities
- Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van houtafval (resthout aanplant en bouw- en sloopafval) -afzetmogelijkheden en knelpunten. Conceptrapport TNO, nr. 88-027/C1 (1988).
- Evaluatie van processen voor productie van grondstoffen uit organische afvalmaterialen. Conceptrapport TNO, nr 87-227 (1987).
- In Nürnberg scheiding van non-ferrometalen uit autoschroot door selectief smelten. Recycling februari/maart 1986 p. 96-7



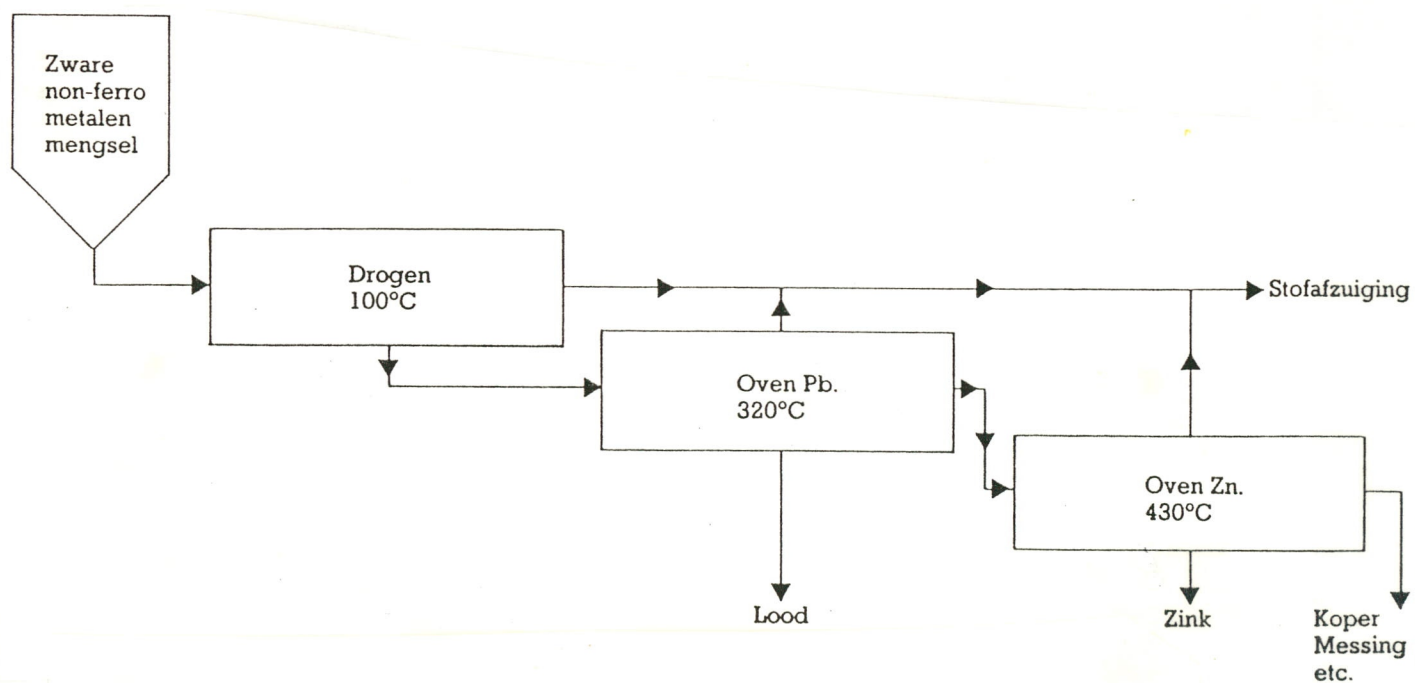
Figuur 1: Pyrolyse reactor systeem bestaande uit twee fluid bedden.



Figuur 2: Schematische weergave van de processen die optreden in een verbrandingsoven.



Figuur 3: Schema van een CORECO-smeltoven.



Figuur 4: Het opwerken van een non-ferrometalen mengsel door selectief smelten.

Bijlage VII: Chemische en fysisch-chemische technieken.

Deze groep bestaat uit een groot aantal verschillende technieken. De groep omvat onder andere:

1	chemische reacties met kunststof	6	omgekeerde osmose
2	uitloggen/oplossen	7	electrochemie
3	ionenwisseling	8	cementatie
4	solvent extractie	9	precipitatie
5	pertractie	10	hulptechnieken

Een aantal van deze technieken overlappen elkaar wat betreft werkwijze. Zo kan bij neutralisatie en reductie (beide hulptechnieken), afhankelijk van de metaalionen in oplossing, precipitatie optreden. Verder is cementatie een vorm van reductie terwijl er gelijktijdig precipitatie van het gereduceerde metaal optreedt.

1. Op welke soort afvallen/stromen van toepassing.

Chemische reacties met kunststoffen: afvalstromen die kunststoffen bevatten, eventueel in combinatie met non-ferrometalen.

Uitloggen/oplossen: non-ferro en/of kunststof bevattende vaste afvalstromen.

Technieken 3 t/m 10: non-ferro metalen, in ion-vorm, die zijn opgelost in een waterige stroom. De non-ferrometalen zijn in oplossing gebracht door het toepassen van techniek 2, uitloggen/oplossen.

2. Doel/werkingsprincipe van de techniek.

Chemische reacties met kunststoffen: het laten overgaan van een kunststof naar een andere aggregatie toestand door middel van een chemische reactie.

Oplossen/uitloggen: het, eventueel selectief, overbrengen (van een non-ferrometaal) van een vaste fase naar de opgeloste vorm in een vloeibare fase, zodat het met een andere techniek vanuit deze vloeibare fase afgescheiden kan worden. Ook is het mogelijk een verontreiniging selectief op te lossen zodat een zuivere stof over blijft.

Bovendien kan de techniek gebruikt worden om kunststoffen met behulp van een organisch oplosmiddel, al dan niet selectief, op te lossen.

Ionenwisseling, solvent extractie en pertractie: het (selectief) verwijderen van één (of meerdere) metaalion(en) uit een oplossing. De verwijdering kan een concentrering als doel hebben. Hierbij is het mogelijk een product in zuivere toestand af te scheiden maar het is ook mogelijk een verontreiniging te verwijderen zodat een gezuiverde stroom over blijft.

Omgekeerde osmose: concentrering van een afvalstroom, door het uitoefenen van druk op een oplossing waardoor op een selectieve wijze oplosmiddel (of opgeloste stoffen) tegen de osmotische druk in door een membraan

worden geperst.

Electrochemie en cementatie: het afscheiden van (vrijwel) zuivere metalen door het reduceren van de metaalionen. In de electrochemie worden de metaalionen gereduceerd met behulp van elektrische energie terwijl bij cementatie een onedel metaal wordt toegevoegd om een edeler metaal af te kunnen scheiden.

Precipitatie: het concentreren van een metaal, dat in de ion-vorm in een oplossing aanwezig is, door het vormen van een neerslag van een slecht oplosbaar metaalzout of -hydroxide. De precipitatie kan selectief uitgevoerd worden. Op die manier wordt een neerslag verkregen met een hoge zuiverheid.

Hulptechnieken: complexering, het vormen van metaalcomplexen zodat deze beter/selectief afgescheiden kunnen worden. Neutralisatie, het aanpassen van de pH van een oplossing zodat een (chemische of fysisch-chemische) scheidingstechniek met succes toegepast kan worden of dat de oplossing milieuhygiënisch verantwoord afgevoerd kan worden. Oxidatie en reductie, het veranderen van de valentie van metaalionen op een zodanige wijze dat ze beter/selectief gewonnen kunnen worden. De valentie wijziging van verontreinigingen kan ook tot gevolg hebben dat producten beter/selectiever gewonnen kunnen worden. Bovendien kunnen de nieuw gevormde metaalionen minder giftig zijn dan de oorspronkelijke ionen, bv. de reductie van Cr^{6+} naar Cr^{3+} .

3. Typen af te scheiden materialen.

Chemische reacties met kunststof: kunststoffen, als de techniek gebruikt wordt om de kunststof te verwerken; of non-ferrometalen, als de kunststoffen worden afgebroken om metaal-kunststof combinaties kunststofvrij te maken.

Uitloggen/oplossen: -- non-ferro's, als de techniek wordt gebruikt om kostbare en/of strategische metalen in oplossing te brengen die later vanuit de oplossing gewonnen kunnen worden of, als kunststoffen worden opgelost om de metalen kunststofvrij te maken. Selectieve uitloging kan ook scheiding van non-ferro's onderling tot gevolg hebben.

-- kunststoffen, als metalen worden opgelost om de kunststof metaalvrij te maken, of als de kunststof specifiek wordt opgelost zodat deze later uit het oplosmiddel teruggewonnen kan worden.

Techniek 3 t/m 9: deze technieken zijn alleen geschikt voor het scheiden van non-ferro's. De technieken 7, 8 en 9 geven een vaste stof als afgescheiden product, terwijl bij de andere technieken een oplossing van metaalionen als afgescheiden stroom ontstaat.

Hulptechnieken: complexering, neutralisatie, oxidatie en reductie worden als hulptechnieken aangemerkt omdat met deze technieken niet direct een scheiding wordt verkregen; ze worden toegepast om een scheiding, uitgevoerd met een andere techniek, mogelijk te maken of te verbeteren. Bovendien kunnen ze gebruikt worden om een afvalstroom minder giftig te maken.

4. Korte beschrijving van de technieken.

De overeenkomst tussen de technieken 3 t/m 10 van deze groep is dat er gewerkt wordt met metaalionen of complexen van metaalionen. De technieken 3 t/m 9 voeren een scheiding uit op basis van de eigenschappen van de ionen of complexen en kunnen dus pas worden toegepast nadat in een voorgaande stap non-ferrometaal houdende afvalstromen zijn uitgeloozd/opgelost.

Chemische reacties met kunststoffen: Onder deze techniek vallen onder andere hydrogenerings- en hydrolyse-reacties. Bij hydrogenering wordt aan verkleinde kunststofafvallen, onder druk en hoge temperatuur, waterstofgas toegevoegd. Onder deze condities worden de polymeerketens van de kunststof afgebroken tot laag moleculaire, vloeibare, verbindingen. Zo is het mogelijk PVC-verbindingen om te zetten in ongevaarlijke zouten en chloorvrije oliën. Hydrolyse-reacties kunnen alleen toegepast worden om kunststoffen die gevormd zijn met condensatiereacties, bv. polyurethaan, polyamide en polyester, af te breken. Tijdens de hydrolyse-reactie worden de kunststofketens opgebroken op de plaatsen waar tijdens de vorming watermoleculen zijn afgesplitst; door het tussenvoegen van watermoleculen vindt er een omkering van de condensatiereactie plaats. Het product van de reactie is een mengsel van monomeren en laag moleculaire polymeren. De reactie vindt plaats onder druk, bij hoge temperaturen en vaak in aanwezigheid van katalysatoren (bv. geconcentreerd zwavelzuur).

Uitloggen/oplossen: Met behulp van deze techniek worden vaste stoffen overgebracht naar de vloeistoffase. Om (een mengsel van) metalen in de opgeloste vorm te krijgen is het noodzakelijk een reagens, bv. een sterk zuur, sterke base, complexvormer of een oxidator, toe te voegen. Als een selectieve uitloging is toegepast, bv. goud uitloging met een cyanide-oplossing of koper met een ammoniak-oplossing, bevat de gevormde oplossing slechts één metaalsoort; bij het volledig oplossen van de metalen uit een afvalstroom ontstaat een mengsel van verschillende metaalionen.

De techniek kan ook gebruikt worden om een kunststof (selectief) op te lossen in een organisch oplosmiddel. In dat geval bevat de oplossing geen ionen maar een kunststof, deze kunststof kan terug gewonnen worden door destillatie.

Ionenwisseling, solvent extractie en pertractie: Bij het toepassen van deze technieken wordt een vloeistof, met daarin metaalionen of metaal-complexen, in contact gebracht met een tweede, vaak organische, fase. Bij solvent extractie bestaat deze organische fase uit een vloeistof (de extractant) welke niet met water mengbaar is. Bij pertractie is de organische fase eveneens een vloeistof, hier treedt echter geen direct contact op tussen de twee vloeistoffen; de fasen worden gescheiden door een poreus membraan. Bij ionenwisseling vormt een vaste stof (de ionenwisselaar) de organische fase. Scheiding van metaalsoorten wordt verkregen doordat bepaalde metaalionen bij voorkeur in de organische fase aanwezig zijn terwijl de overige ionen in de waterfase blijven. Na het scheiden van beide fasen blijft een waterfase over waar één of meerdere ionsoorten uit verdwenen zijn.

Deze technieken kunnen gebruikt worden om een product selectief af te scheiden uit een afvalstroom; na regeneratie van de organische fase komt het product in zuivere vorm vrij. Bovendien is het met deze technieken mogelijk verontreinigingen uit een stroom te verwijderen; de reststroom is dan gezuiverd terwijl de verontreinigingen tijdens de

regeneratie van de organische fase in een aparte vloeistofstroom vrij komen.

Omgekeerde osmose: dit is in principe een techniek, die er voor zorgt dat een opgeloste stof van het oplosmiddel wordt gescheiden, doordat het oplosmiddel door middel van een druk, die groter is dan de tegenwerkende osmotische druk, door een membraan heen wordt geperst. Het membraan is in dat geval selectief doorlaatbaar voor het oplosmiddel, maar niet voor de opgeloste stof. Door de filtrerende werking van het membraan verkrijgt men aldus een meer geconcentreerde oplossing naast zuiver oplosmiddel.

Voorwaarde voor het gebruik van deze techniek als scheidingstechniek voor non-ferrometalen is, dat het membraan, behalve voor het oplosmiddel, ook selectief doorlaatbaar moet zijn voor een van de opgeloste componenten. Op deze manier kan de doorlaatbare component gescheiden worden van de overige, al dan niet opgeloste, stoffen.

Electrochemie en cementatie: Deze technieken scheiden metaal af door metaalionen te reduceren tot metaal. De voor de reductie benodigde electronen worden bij electrochemie geleverd door electriciteit. Door in een vloeistof met metaalionen twee electrodes aan te brengen, welke zijn aangesloten op een stroomkring, zullen aan de negatieve electrode metaalionen gereduceerd worden tot metaal. Het potentiaalverschil tussen de electrodes bepaalt welk metaal gereduceerd wordt.

Bij cementatie worden de benodigde electronen verkregen door het toevoegen van een onedel metaal. Na de cementatie zijn de ionen van een edel metaal omgezet in het metaal terwijl het onedele metaal in oplossing is gegaan, bv. cementatie van koper met ijzer poeder.

Precipitatie: Metaalionen geconcentreerd door ze vanuit de ionvorm over te brengen naar de vaste vorm door middel van de vorming van een neerslag van een slecht oplosbaar metaalzout of -hydroxide. Het verwijderen van (vrijwel) alle metaalionen uit een oplossing door de pH sterk te verhogen, wordt veel toegepast; hierbij ontstaan de zgn. hydroxide slibben. Dit proces is alleen selectief uit te voeren als de pH zeer goed wordt geregeld. Selectieve precipitatie kan uitgevoerd worden door het toevoegen van verschillende ionsoorten bijvoorbeeld: chromaten (lood precipitatie als PbCrO_4), sulfides (koper precipitatie als CuS) of cyanides (koper precipitatie als CuCN). De slecht oplosbare metaalverbindingen kunnen ook gevormd worden door het uitvoeren van een chemische reactie, bijvoorbeeld: reductie van Au^+ met Fe^{2+} waarbij metallisch goud ontstaat, de reductie van CuCl_2 met H_2SO_3 waarbij een neerslag van CuCl ontstaat of de oxidatie van Mn^{2+} met NaOCl waarbij een neerslag van MnO_2 wordt gevormd.

Als in een oplossing slecht oplosbare stoffen aanwezig zijn in lage concentratie, waarbij nog geen neerslag ontstaat, kan alsnog een neerslag verkregen worden door het verdampen van het oplosmiddel of door het afkoelen van de oplossing. In dat geval spreekt men niet van precipitatie maar van kristallisatie.

Hulptechnieken: complexering, neutralisatie, oxidatie en reductie zijn in feite geen technieken waarbij een scheiding uitgevoerd wordt. Ze worden alleen toegepast zodat een (chemische of fysisch-chemische) scheidingstechniek met succes toegepast kan worden of dat de oplossing veilig afgevoerd kan worden. Bij het toepassen van neutralisatie, oxidatie of reductie bestaat de mogelijkheid dat er neerslagen worden gevormd. De vorming van ongewenste neerslagen dient voorkomen te worden, dit is echter niet altijd mogelijk. Is de neerslag gewenst dan is er geen sprake van een hulptechniek maar van precipitatie.

5. Ontwikkelingsstadium.

Van de beschreven chemische en fysisch-chemische technieken is pertractie de techniek die het minst ver ontwikkeld is en bevindt zich nog in de onderzoeksfase. De chemische reacties met kunststoffen worden al wel toegepast, maar meestal niet op het gebied van de verwerking van afvallen. De verdere ontwikkeling van deze processen voor de verwerking van afvallen is nog in volle gang.

De overige technieken hebben reeds een breed toepassingsgebied. Dit wil echter nog niet zeggen dat ze volledig uit ontwikkeld zijn. Cementatie en precipitatie zijn de enige twee technieken waarvan gezegd kan worden dat ze (vrijwel) uit ontwikkeld zijn. Onderzoek op die gebieden zal meestal toepassingsgericht zijn. De andere technieken worden nog steeds verder ontwikkeld met de bedoeling het toepassingsgebied uit te breiden en de werking te optimaliseren. Zo wordt bij solvent extractie continu onderzoek gedaan naar nieuwe extractanten en wordt in de electrochemie gezocht naar elektroden met een hoger rendement en/of een groter oppervlak.

6. Technologische randvoorwaarden/rendement.

Bij alle technieken, misschien met uitzondering van uitlogen/oplossen, moet als eis gesteld worden dat de ingaande stroom aan een zekere zuiverheid voldoet. In de meeste gevallen is de aanwezigheid van vast materiaal in de oplossingen storend; bij solvent extractie raakt de organische fase vervuild; bij pertractie en omgekeerde osmose kunnen de membranen dicht slibben; bij ionenwisseling kan het bed dicht slibben en kan de ionenwisselaar deels inactief worden; bij electrochemie kan zich materiaal op de electrodes afzetten (als bij de electrolyse een membraan gebruikt wordt om chloorgas ontwikkeling tegen te gaan kan deze dicht slibben) en bij precipitatie en cementatie kan de vaste stof in het product terecht komen. Verder worden de technieken moeilijker, minder selectief, naarmate er meer verschillende ionen in de vloeistof voor komen.

Voor de technieken 3 t/m 10 geldt dat ze toegepast worden op non-ferrometalen die zich in een waterige oplossing bevinden. De technieken kunnen pas toegepast worden nadat de non-ferrometalen vanuit de vaste vorm zijn overgebracht naar de waterfase; ze moeten worden uitgeloozd/opgelost. De technieken, met uitzondering van ionenwisseling, werken in het gehele concentratiegebied van de metaalionen. Hierbij gaat de voorkeur uit naar een zo hoog mogelijke beginconcentratie omdat de te verwerken hoeveelheid vloeistof dan minimaal is. Een hoge beginconcentratie kan bovendien een gunstig effect hebben op het rendement van het proces. De keuze van de ingangconcentratie is echter niet geheel vrij maar wordt bepaald door de uitloog/oplos stap en eventueel andere, reeds eerder toegepaste, chemische of fysisch-chemische technieken. Aan een aantal technieken zijn specifieke randvoorwaarden toe te kennen. Deze worden hieronder nader beschreven.

Chemische reacties met kunststof: hydrolyse reacties kunnen alleen toegepast worden op kunststoffen die via een condensatiereactie gevormd zijn.

Uitlogen/oplossen: meestal zal het materiaal verkleind moeten worden voordat uitloging succes heeft; het op te lossen materiaal moet

voldoende bereikbaar zijn. Als een materiaal een coating bevat die specifiek opgelost kan/moet worden, is geen verkleiningsstap noodzakelijk.

Ionenwisseling: de begin concentratie van de metaalionen in de oplossing mag niet te hoog zijn (< 20 g/l), anders wordt de volledige belading van het uitwisselende materiaal, de ionenwisselaar, veel te snel bereikt. Aangezien het ionenwisselingsproces vaak batchgewijs uitgevoerd wordt, betekent dit dat belading en regeneratie elkaar zeer snel afwisselen.

Electrochemie: in zoutzuur milieu kan onder bepaalde omstandigheden aan de anode chloorgas worden gevormd; dit probleem kan worden voorkomen door gebruik te maken van een gedeelde reactor. Afhankelijk van de concentratierange waarin gewerkt moet worden, is een andere configuratie van de electrodes vereist. Bij een concentratierange van 100 mg/l en hoger kan met een eenvoudige uitvoering worden volstaan. Is het echter noodzakelijk een concentratie vanaf ca. 100 mg/l terug te brengen tot 0,1 mg/l dan is een geavanceerde uitvoeringsvorm van de electrode noodzakelijk (bv. gepakt bed of fibermateriaal).

7. Toepassingsgebied.

Chemische reacties met kunststoffen worden nog niet uitgebreid toegepast.

Hydrolysereacties worden wel toegepast bij de verwerking van cellulosehoudend materiaal (bv. papierafval en stro). Verder blijkt het mogelijk schuimafvallen van de productie van polyurethaanschuim door middel van hydrolyse om te zetten in uitgangsmateriaal voor de schuimproductie.

Uitlogen/oplossen wordt al lang, op zeer grote schaal, toegepast in de metaalwinning. Bovendien wordt het toegepast bij de terugwinning van non-ferrometalen uit non-ferrohoudend afval.

Ionenwisseling wordt toegepast in afvalwaterzuivering, verwijdering van metaalionen uit vloeistoffen van de galvanische industrie en bij de winning van waardevolle metalen in de metallurgische industrie.

Solvent extractie wordt op grote schaal toegepast in de metaalwinning (bv. 100 ton Cu/dag). Verder wordt het onder andere toegepast in de zuivering van metaalhoudend chemisch afval.

Pertractie bevindt zich nog in het onderzoeksstadium. Het toekomstige toepassingsgebied zal waarschijnlijk ongeveer gelijk zijn aan die van solvent extractie.

Omgekeerde osmose wordt gebruikt voor het ontzouten van zeewater. Ook wordt het toegepast in de voedselindustrie (bv. het concentreren van vruchtesappen).

Electrochemie. De belangrijkste toepassing van deze techniek is bij de winning van metalen. Milieutoepassingen zijn: het terugwinnen van metalen uit geconcentreerde oplossingen (uitloog vloeistoffen) en het verwijderen van metalen uit verdunde oplossingen (bv. spoelwater van de galvanische industrie).

Cementatie wordt toegepast bij de koperwinning en bij de verwerking van non-ferrometaalafvallen.

Precipitatie wordt onder andere toegepast in de afvalwater zuivering bij de metaal bewerkende industrie (vorming hydroxide slibben).

Hulptechnieken worden zeer algemeen toegepast, onder andere in de afvalwaterzuivering en de metaalwinning.

8. Resterende afvalproblematiek.

In de praktijk zal er nooit sprake zijn van een zuivere non-ferro/kunststofcombinatie zodat in ieder geval de aanwezige verontreinigingen al in een afvalstroom geconcentreerd worden. Verder genereren de chemische en fysisch-chemische technieken zelf ook veelal afvalstromen.

De verschillende technieken zullen achtereenvolgend behandeld worden.

Chemische reacties met kunststof: nadat de kunststoffen afgebroken zijn tot vloeibare producten blijven de toeslagstoffen uit de kunststof en eventueel aanwezige non-ferrometalen en niet afgebroken kunststoffen achter in het residu. De toeslagstoffen en de resten kunststof zullen meestal als afval aangemerkt moeten worden. Afhankelijk van de samenstelling en de aard van het metalenmengsel zal voor een specifieke opwerkingsroute gekozen worden, waarbij naar alle waarschijnlijkheid residuen ontstaan die afgevoerd dienen te worden. De samenstelling van het chemische reactieproduct bepaald of dit product nuttig toegepast kan worden, bv. als brandstof, of dat het als afval afgevoerd moet worden.

Uitloggen/oplossen: het resterende afvalprobleem kan hier zeer divers zijn. Als een kunststof wordt opgelost met het doel een kunststofvrij non-ferrometaal te krijgen, ontstaat een organische oplossing met daarin de kunststof. Uit deze vloeistof kan het oplosmiddel terug gewonnen worden waarna de kunststof (mogelijk als afval) vrijkomt; ook kan de vloeistof direct als afval afgevoerd worden. De kunststof kan ook opgelost worden met het doel de kunststof terug te winnen. In dat geval kan het residu (niet opgeloste kunststoffen, toeslagstoffen en metalen) een afval zijn.

De techniek kan ook toegepast worden op non-ferrometalen; ook dan bestaan er weer twee mogelijkheden. De metalen worden opgelost met het doel een kunststoffractie metaalvrij te maken; in dat geval zal de ontstane metaaloplossing een afval zijn. In veel gevallen zal de betreffende stroom niet als zodanig geloosd mogen worden, maar moet het een nabehandeling ondergaan of onder speciale condities afgevoerd worden. Als de metalen opgelost worden met het doel ze daarna te winnen uit de waterfase, zal het niet opgeloste materiaal (kunststoffen en overig niet oplosbaar materiaal) een afval zijn.

Ionenwisseling, solvent extractie en pertractie: er ontstaan een restvloeistof waaruit één metaalsoort specifiek is verwijderd en alle overige nog aanwezig zijn. Daarnaast is een stroom verkregen waarin slechts één metaalsoort aanwezig is, de productstroom. Deze laatste stroom is over het algemeen redelijk eenvoudig op te werken, of zelfs direct te verkopen.

Omgekeerde osmose: bij omgekeerde osmose wordt de ingangsstroom gesplitst in twee stromen. Afhankelijk van de selectieve doorlaatbaarheid van het gebruikte membraan kunnen er verschillende afvalstromen ontstaan. Als het membraan alleen water doorlaat betekent dit dat de ingangsvloeistof geconcentreerd wordt. De tweede stroom bestaat alleen uit water en kan geloosd worden. Als, behalve water, ook andere stoffen door het membraan gaan wordt de situatie anders. De techniek wordt dan toegepast om één van de metalen te scheiden van de rest. Dit afgescheiden metaal kan het product zijn, zodat de rest een afval is of eventueel verder opgewerkt kan worden. Er kan echter ook een verontreiniging selectief afgescheiden zijn, de afgescheiden stroom is dan een afvalstroom. Een derde mogelijkheid is dat een stroom gesplitst wordt in twee eenvoudiger te verwerken stromen, in dat geval

is er geen afval.

Electrochemie: er ontstaat een restvloeistof waaruit één metaalsoort specifiek is verwijderd en alle overige nog aanwezig zijn. Het product is een zuivere vaste stof op de electrode.

Cementatie: een vloeistof waar één metaal (vrijwel) uit verwijderd is, maar waarin de concentratie van een ander metaal gestegen is. Het product is een vaste stof, een metaal of een mengsel van twee metalen.

Precipitatie: hierbij ontstaat een restvloeistof waaruit één of meerdere metaalsoorten verwijderd zijn. Bij volledige precipitatie, bijvoorbeeld door het sterk verhogen van de pH met loog, is het mogelijk een vloeistof over te houden met zeer lage metaalconcentraties wat probleemloos geloosd kan worden. Behalve een vloeistof ontstaat er ook een slib, een vaste stof. Afhankelijk van de selectiviteit van de precipitatie is deze vaste stof al dan niet zuiver.

Hulptechnieken: complexering; er is sprake van de zelfde vloeistof met als enig verschil dat een ionsoort nu in de vorm van een (gewijzigd) complex aanwezig is. Neutralisatie; er is sprake van een vloeistof met een gewijzigde pH (pH ca. 7). Oxidatie, reductie; er is sprake van de zelfde vloeistof alwaar mee gestart is met één of meerdere ionsoorten in een gewijzigde valentie.

9. Kosten (baten) per ton ingangsmateriaal.

Chemische reacties met kunststof: de kosten voor hydrolyse van oudpapier en houtafval, waarbij glucose wordt gevormd, bedragen fl. 300 tot fl. 400 per ton. Kosten voor de afbraak van kunststoffen door hydrolyse of hydrogenering zullen in de zelfde grootte orde liggen.

Uitloggen/oplossen: de kosten zijn zeer sterk afhankelijk van de hoeveelheid materiaal dat opgelost moet worden en het benodigde reagens. Dit directe verband is vooral zichtbaar als het materiaal oplost door gebruik te maken van een chemische reactie, het omzetten van metalen in ionen. Verder zijn ook temperatuur en nabehandeling, afscheiding niet opgelost materiaal, van belang.

Met een voorbeeld zal geprobeerd worden een ruwe schatting te maken voor de kosten. Het meest gebruikte reagens is zoutzuur, dit kost ca. fl. 175 per ton. Met deze hoeveelheid zuur kan 4,4 tot 4,5 kmol metaal omgezet worden in een tweewaardig ion. Bij een gemiddeld molgewicht van 100 kg/kmol betekent dit dat 440 tot 450 kg metaal opgelost kan worden. Als een afvalstroom 50 gewichts% metaal bevat kost het oplossen van het metaal ca. fl. 175 aan chemicaliën. Hier overheen komen nog apparatuurkosten en nabewerkingskosten.

De kosten voor het uitloggen/oplossen van een ton non-ferroafval komt op fl. 100 tot fl. 500. Bij een hoog reagens verbruik en/of speciale procescondities kunnen de kosten hoger zijn.

Bij de overige chemische en fysisch-chemische technieken is het vaak moeilijk om de kosten per ton ingangsmateriaal te geven. De kosten zijn voor een groot deel afhankelijk van de hoeveelheid metalen (in het uitgangsmateriaal) die afgescheiden worden en veel minder van de totale hoeveelheid vloeistof of de concentratie metalen aanwezig in de vloeistofstroom. Voor een goede economische, en technische, evaluatie van de technieken is het noodzakelijk te weten wat de samenstelling van de stromen zijn. Verder kunnen de technieken pas toegepast worden nadat de

metalen opgelost zijn. Toch is geprobeerd een schatting te geven van de kosten van de technieken. Deze kosten kunnen gegeven zijn op basis van een hoeveelheid afgescheiden materiaal in plaats van ingangsmateriaal. Als de samenstelling van het ingangsmateriaal bekend is kunnen de kosten terug gerekend worden.

Ionenwisseling: de kosten zijn afhankelijk van de toepassing (wel of niet regenererbaar), concentratie, aard van het materiaal en schaal. Naar schatting tussen fl. 100 en fl. 700 per ton metaal. Het metaal bevindt zich dan nog steeds in een waterfase.

Solvent extractie: de kosten zijn afhankelijk van de concentratie en 'moeilijkheidsgraad' en bedragen tussen fl. 50 en fl. 500 per ton afgescheiden metaal (nog in oplossing). Voorbeeld 1: het scheiden van een Ni/Co-oplossing met 10 g/l Ni en 10 g/l Co kost ca. \$ 2,50 per m³ behandelde vloeistof. Dit komt overeen met \$ 250 per ton gewonnen kobalt of \$ 125 per ton behandeld metaal. Een tweede voorbeeld is de verwerking van een oplossing met 1,8 g/l Zn en 25 g/l Mn. Het scheiden van de metalen door solvent extractie van Zn kost ca. \$ 0,78 per m³ vloeistof. Deze kosten komen overeen met \$ 29 per ton verwerkt metalenmengsel (gebaseerd op metaal als vaste stof), \$ 31 per ton Mn en \$ 430 per ton Zn. De belangrijkste waarde in deze rij is \$ 31 /ton Mn, omdat zink in dit geval een verontreiniging van het product mangaan is; het geeft de kosten voor het zuiveren van een ton mangaan.

Pertractie: deze techniek wordt nog niet op grote schaal toegepast.

Waarschijnlijk zelfde grootte orde als solvent extractie, fl. 50 tot fl. 500 per ton afgescheiden materiaal.

Omgekeerde osmose: De kosten voor het ontzouten van zeewater komen globaal neer op ongeveer fl. 60 per ton ingangsmateriaal (alleen betrokken op het opgeloste zout). De verwerkingskosten van de beschreven mengsels zullen waarschijnlijk minimaal in de zelfde orde van grootte liggen.

Electrochemie: deze techniek wordt vaak toegepast in combinatie met solvent extractie en de kosten bedragen in het geval van bij Cu in de buurt van fl. 350 per ton Cu. De gemiddelde kosten zullen waarschijnlijk tussen fl. 200 en fl. 500 per ton metaal liggen.

Cementatie: voor het cementeren is de prijs van het toe te voegen onedele metaal een zeer belangrijke kosten post. Het cementeren van een ton koper met behulp van ijzer kost fl. 60 - 70 per ton koper.

Precipitatie: de kosten per ton afgescheiden materiaal zijn zeer sterk afhankelijk van de selectiviteit van de precipitatie. Volledig neerslaan met kalkwater is relatief goedkoop terwijl selectieve precipitatie met sulfides, in verband met giftigheid en stank, veel duurder is. Voor het reduceren van een ton goud ($\text{Au}^+ \rightarrow \text{Au}$) met tweewaardige ijzer ionen is ca. 0,3 ton Fe^{2+} nodig. De kosten bedragen fl. 150 tot fl. 1000 per ton metaal.

Hulptechnieken: neutralisatie; de kosten zijn afhankelijk van de oorspronkelijke pH en het materiaal waarmee de neutralisatie uitgevoerd wordt. Als er geen sprake is van chemische evenwichten (bv. pH-gebufferde oplossingen) bedragen de kosten fl. 1 tot fl. 5 per kubieke meter vloeistof. Is er wel sprake van chemische evenwichten, dan zullen de kosten waarschijnlijk hoger zijn. De kosten van de andere hulptechnieken worden voor het grootste deel bepaald door de toe te voegen chemicaliën (complexvormer, oxidator, reductor), de aard van de chemische reactie die optreedt en uiteraard de hoeveelheid materiaal dat omgezet moet worden. De kosten per ton materiaal kunnen oplopen tot fl. 1000.

De baten van de chemische reacties met kunststoffen (als de technieken toegepast worden met de bedoeling de kunststof te verwerken) worden bepaald door de opbrengst van de reactieproducten. Als de kunststof afgebroken wordt met de bedoeling een metaal kunststofvrij te maken, dan kunnen alleen baten aan de techniek toegekend worden als het metaal als zodanig waarde heeft. In andere gevallen is het een voorbereidingsstap die slechts kosten met zich mee brengt. De baten ontstaan pas in een latere stap.

Uitloggen/oplossen kent alleen baten als één product selectief opgelost wordt of als alle verontreinigingen opgelost worden, terwijl de gewenste component niet oplost; dit geldt zowel voor het oplossen van kunststoffen als voor het oplossen van metalen. De baten worden bepaald door de waarde van de selectief afgescheiden component.

Ionenwisseling, solvent extractie en pertractie geven een zuivere oplossing als eindproduct. In sommige gevallen is deze vloeistof direct te verkopen terwijl in andere gevallen de vloeistof eerst opgewerkt moet worden voordat het een directe waarde heeft.

Bij electrochemie, cementatie en precipitatie ontstaat een vaste stof als product. De waarde van deze vaste stof bepaald de directe baten van de techniek.

Hulptechnieken hebben geen directe baten. Ze worden alleen toegepast om andere technieken mogelijk te maken/te vereenvoudigen of om een vloeibare afvalstroom milieuhygiënisch verantwoord af te kunnen voeren.

10. Capaciteit.

Chemische reacties met kunststof worden nog niet op grote schaal toegepast bij de verwerking van afvallen.

De capaciteit van de overige chemische en fysisch-chemische technieken is over het algemeen zeer groot. In de metaalwinning worden de technieken 2, 3, 4, 7, 8 en 9 uitgevoerd op een schaal van 5 tot 10 ton geproduceerd metaal per uur. Aangezien de erts soms minder dan 5 % metalen bevatten betekent dit dat uitgegaan wordt van meer dan 100 ton erts per uur. Deze capaciteiten kunnen ook met de hulptechnieken gehaald worden. Het gaat hierbij immers alleen om het toevoegen van een reagens aan een geroerde tank met een oplossing en het creëren van voldoende verblijftijd.

Neutralisatie wordt reeds toegepast op een schaal van 500 m³ per uur.

Bij het ontzouten van zeewater wordt omgekeerde osmose toegepast met een capaciteit van 200 m³/uur; hierbij wordt 10 ton zout per uur afgescheiden.

Literatuur

- Perry's Chemical Engineers' Handbook.
Sixth edition, McGraw-Hill Book Company, New York, USA (1982).
- Ullmann's Encyklopädie der technischen Chemie.
4. auflage, band 6.
- Hydrometallurgy.
Fathi Habashi, C&EN feb. 8, p. 46-58 (1982).
- Solvent Extraction: principles and applications to process
metallurgy, part II.
G.M. Ritcey, A.W. Ashbrook,
Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands (1979)
- Processen voor hergebruik van afvalstromen met zware metalen.
TNO-rapport nr. 87-158
- Evaluatie van processen voor productie van grondstoffen uit organische
afvalmaterialen.
Concept rapport TNO nr. 87-227.
- Monografie: Vaste ionenwisselaars.
W. Engelhard (TNO)
- Monografie: Electrolytische afscheiding van metalen.
J. van Erkel (TNO)

Bijlage VIII

GEHALTE AAN ONDERDELEN/MATERIALEN VAN DE DIVERSE APPARATEN

Kleurentelevisie ontvangtoestellen $\leq$ 8 jaar

	ZANUSSI		SIEMENS		NORDMENDE	
	(ouderdom: 5 jaar)		(ouderdom: 8 jaar)		(ouderdom: 4 jaar)	
	PTN 00096- 021347		Fe 387		SK 3 color	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Kast (hout)	6.600	18,0	6.800	17,1	5.900	16,9
Beeldbuis	19.400	52,8	21.000	53,0	20.300	58,2
Beeldbuisspoel	1.437	3,9	1.142	2,9	888	2,6
Trafo	133	0,4	551	1,4	406	1,2
Luidspreker	266	0,7	288	0,7	240	0,7
Kabel om beeldbuis (koper)	216	0,6	741	1,9	247	0,7
Kunststof achterwand	1.966	5,3	1.778	4,5	1.960	5,6
Kunststoffen	661	1,8	500	1,3	600	1,7
Non-ferro	646	1,8	548	1,4	252	0,7
Ferro	1.192	3,2	1.295	3,2	738	2,1
Condensator ¹⁾	142 ²⁾	0,4	112	0,3	119	0,4
Bedrading	252	0,7	555	1,4	420	1,2
Contact-aansluitmat., schakelaars, etc.	284	0,8	269	0,7	67	0,2
Printplaten compleet	3.566	9,7	4.072	10,3	2.671	7,7
	36.761		39.651		34.898	

¹⁾ condensator in kunststofblok²⁾ compleet met kabel naar beeldbuis

Kleurentelevisie ontvangtoestellen 10 - 15 jaar

	ARISTONA type		ROLAND		IMPERIAL	
	AR 6SK 394/02		NORDMENDE		CT 926	
	(ouderdom:		(ouderdom:		(ouderdom:	
	15 jaar)		11 jaar)		10 jaar)	
	nr. A 891380		nr. 17299		fabr. 190510	
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Kast (hout)	7.600	20,4	6.400	15,9	3.600	8,7
Beeldbuis	18.000	48,1	20.700	51,4	21.000	50,5
Kunststof front en bodem					2.500	6,0
Beeldbuisspoel	1.478	4,0	1.658	4,1	1.732	4,2
Trafo	488 ¹⁾	1,3	1.435 ²⁾	3,6	2.624 ³⁾	6,3
Luidspreker	221	0,6	504	1,3	315	0,8
Kabel om beeldbuis (koper)	587	1,6	902	2,2	476	1,1
Kunststof achterwand	1.995	5,3	1.520	3,8	1.590	3,8
Kunststoffen	60	0,2	611	1,5	752	1,8
Non-ferro	105	0,3	703	1,7	750	1,8
Ferro	1.420	3,8	550	1,4	550	1,3
Condensator	-		-		197	0,5
Spoelen	397	1,0	-		-	
Bedrading	530	1,4	680	1,7	440	1,1
Buizen	338	0,9	-		126	0,3
Contact- en schakelmateriaal	220	0,6	53	0,1	110	0,3
Printplaten compleet	3.946	10,6	4.572 ⁴⁾	11,3	4.848	11,7
	37.327		40.288		41.610	

1) 2 stuks

2) 3 stuks

3) 3 stuks

4) afstandsbediening incl. (d.m.v. kabel)

Videocassetterecorders

	PHILIPS		SONY		TOSHIBA	
	(ouderdom: 12 jaar)		Betamax (ouderdom: 9 jaar)		(ouderdom: 3 jaar)	
	N 1700/00 VCR		Model SL 8000E		Model V-9600 EU	
	nr. WD 02-745 B		nr. 250278		nr. 14014225	
	1016499					
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
Behuizing:						
- kunststof	3.100	18,4	1.713	9,0	4.520	32,5
- ferro	3.500	20,7	4.740	24,8	2.006	14,4
- non-ferro	-		-		584	4,2
Kunststoffen	592	3,5	875	4,6	468	3,4
Ferro	1.528	9,0	3.156	16,5	1.731	12,4
Non-ferro	1.514	9,0	997	5,2	486	3,5
Bedrading	445	2,6	461	2,4	320	2,3
Trafo	1.586	9,4	2.049	10,7	1.398	10,0
Motor	806 ¹⁾	4,8	1.206	6,3	655 ²⁾	4,7
Spoel	40	0,2	290	1,5	-	
Condensator	74	0,4	20	0,1	-	
Kop	1.289 ³⁾	7,6	194	1,0	74	0,5
Opnemer/weergave	136 ⁴⁾	0,8	-		15	0,1
Schakelaars/contacten, aansluitmateriaal	168	1,0	453	2,4	65	0,5
Printplaten compleet	2.107	12,5	2.984	15,6	1.592	11,4
	16.885		19.138		13.916	

1) 4 stuks

2) 5 stuks

3) compleet

4) compleet

Tuner-versterker met cassette opnemer/weergever

SCHNEIDER

serie 102

nr. 11272

(g) (%)

Behuizing: kunststof	1.631	29,9
----------------------	-------	------

Radiodeel, tuner versterker

Grondplaat, ferro	659	12,1
Kunststoffen	23	0,4
Ferro	177	3,2
Trafo	829	15,2
Snoer + steker	55	1,0
Bedrading	68	1,2
Overig ferro (schroeven, enz.)	64	1,2
Printplaten (elektronica) compleet	826	15,1

Cassette-deel

Ferro	721	13,2
Kunststoffen	101	1,8
Motor	104	1,9
Bedrading	25	0,5
Opnemer en weergever	8	0,1
Printplaat compleet	160	2,9
Schroeven, ferro	11	0,2
	<u>5.462</u>	

Platenspeler

INTEL BSR

type P 128 R

nr. KB 4205/503

(g) (%)

Kast, hout	2.600	42,2
Dek, ferro	1.683	27,4
Platenlegger, ferro	848	13,8
Rubber	52	0,8
Non-ferro	105	1,7
Kunststof	62	1,0
Bedrading	84	1,4
Motor	695	11,3
Arm	15	0,2
Element	8	0,1
Keramische condensator	2,2	0,04
	6.154,2	

Autoradio

	GRUNDIG		PIANOLA	
	met cassettespeler		SR 206	
	(stereo)		nr. 007/0558	
	model nr. TCS 801 EQ			
	(g)	(%)	(g)	(%)
Ferro	320	47,9	740	72,8
Non-ferro	36	5,4	58	5,7
Kunststoffen	30	4,5	-	
Motor	49 ¹⁾	7,3	-	
Bedrading	28	4,2	26	2,6
Printplaten compleet	205	30,7	193	2,9
	<u>668</u>		<u>1.017</u>	

¹⁾ merk Sankyo

Elektronische schrijfmachine met geheugen en printer

	TRIUMPH			
	Type SE 2000 schrijfmachine + geheugen		Type EV printer	
	(g)	(%)	(g)	(%)
Behuizing non-ferro	10.986	46,7	2.612	37,0
Ferro	3.236	13,8	970	13,7
Rubber	700	3,0	-	
Kunststoffen	833	3,5	313	4,4
Motor	2.639 ¹⁾	11,2	380 ²⁾	5,4
Ventilator	586	2,5	-	
Bedrading	740	3,1	390	5,5
Luidspreker	27	0,1	-	
Schakel- en aansluitmateriaal	597	2,5	50	0,7
Printplaten (compleet)	3.158	13,4	2.343 ³⁾	33,2
	<u>23.502</u>		<u>7.058</u>	

¹⁾ 4 stuks

²⁾ 2 stuks

³⁾ incl. trafo

(Geheugen)computer met monitor

HAZELTIME 1500

Type CO 3

Serienr. 106345

(g) (%)

Behuizing kunststof	5.600	33,7
Beeldschermplaat kunststof	188	1,1
Beeldbuis	3.052	18,3
Non-ferro	1.423	8,6
Ferro	290	1,7
Trafo	2.716	16,3
Bedrading	594	3,6
Condensator	123	0,7
Schakelmateriaal	163	1,0
Beeldschermspoel	397	2,4
Printplaten (compleet)	2.088	12,6
	16.634	

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage IX-1

BIJLAGE IX GEHALTE AAN ONDERDELEN/MATERIALEN IN KLEURENTELEVISIES

Type Bouwjaar	GREATZ 2742 1978 (kg) (gew%)	EXPERT 6833 1984 (kg) (gew%)	REX 26 RT 435 1985 (kg) (gew%)	REX 26 RT 418 1986 (kg) (gew%)	BARCO-GAGUIN 9911965 1986 (kg) (gew%)
Totaal gewicht	26,4	37	35,2	33,9	38,8
Gew. beeldbuis	14,3 (54,2)	22,5 (60,8)	22,3 (63,4)	22,0* (64,9)	22,3* (57,5)
„ omkasting (hout)	4,5 (17,0)	6,0 (16,2)	6,6 (18,8)	6,0 (17,7)	6,5 (16,8)
„ achterwand (kunststof)	1,33 (5,0)	1,6 (4,3)	1,53 (4,3)	1,6 (4,7)	1,6 (4,1)
„ luidspreker	0,1 (0,4)	0,18 (0,5)	0,49 (1,4)	0,43 (1,3)	0,2 (0,5)
„ bedrading	0,38 (1,4)	0,35 (0,9)	0,29 (0,8)	0,36 (1,1)	0,48 (1,2)
„ bevestigingsmatr.	0,03 (0,1)	0,03 (0,1)	0,05 (0,1)	0,03 (0,1)	0,04 (0,1)
„ losse kunststofdelen	0,41 (1,6)	0,41 (1,1)	0,26 (0,7)	0,55 (1,6)	0,92 (2,4)
„ losse metalen delen	0,76 (2,9)	1,1 (3,0)	–	–	–
„ hout	0,38 (1,4)	–	–	–	1,0 (2,6)
„ gew. printplaten	4,21 (15,9)	4,87 (13,2)	3,7 (10,5)	2,9 (8,5)	5,72 (14,7)
* incl. afbuigspoel (vastgelijmd)					
Aantal printplaten	10	21	16	11	21
Printplaatonderdelen (stuks):					
Zekeringen	2	8	6	5	10
Transformatoren	3	3	6	6	6
Gelijkrichters	.	4	.	.	.
LED's	5	2	11	2	14
Thyristors	.	.	2	.	.
Potmeters	35	29	19	21	49
Spoelen	36	71	64	52	63
Kristallen	3	5	4	4	2
IC's	12	23	23	16	29
Dioden	47	130	102	100	168
Condensatoren	180	340	253	177	465
Weerstanden	335	630	477	340	694
Transistoren	39	113	60	60	97
Oppervlakte printplaten (dm ²)	19	28	17	16	45,5

Type	NOVOTEC midiset		PHILIPS tuner/verstarker 22 AH 794//00		SCOTT verstarker A 426		JVC verstarker A-S3		HANSEATIC cassettedeck LD 500		TECHNICS cassettedeck RS-M5		SANYO cassettedeck RD 515		SONY cassettedeck TC-FX5		AUDIO SONIC cassettereorder CT 120		AUDIO SONIC platenspeler Discosound		AUDIO SONIC platenspeler AS 5010		FRONTECH rad.cass.rec. RC Q15L		Philips rad.cass.rec. D 8130/00	
	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)
Totaal gewicht	12,51		10,18		12,17		4,73		3,49		3,24		4,18		3,40		0,92		5,52		2,58		1,22		1,94	
Gew. kunststof	2,77 (22,1)		0,98 (9,6)		-		-		-		0,99 (30,6)		0,3 (7,2)		0,01 (0,3)		0,34 (37,0)		2,59 (46,9)		2,0 (77,5)		0,72 (59,0)		1,17 (60,3)	
„ metalen ferro	5,75 (46,0)		1,86 (18,3)		7,18 (59,0)		1,94 (41,0)		1,39 (39,8)		0,91 (28,1)		3,03 (72,5)		1,57 (46,2)		0,33 (35,9)		1,23 (22,3)		0,05 (1,9)		0,11 (9,0)		0,15 (7,7)	
„ „ non-ferro	-		1,83 (18,0)		1,14 (9,4)		0,5 (10,6)		0,35 (10,0)		0,25 (7,7)		-		0,26 (7,9)		-		-		0,03 (1,2)		-		-	
„ hout	-		1,71 (16,8)		-		-		0,81 (23,2)		-		-		-		-		-		-		-		-	
„ hardboard	0,76 (6,1)		0,49 (4,8)		-		-		0,13 (3,7)		-		-		-		-		-		-		-		-	
„ bedrading en bevesti- gingsmatr.	0,38 (3,0)		0,17 (1,7)		0,2 (1,6)		0,21 (4,4)		0,15 (4,3)		0,27 (8,3)		0,19 (4,5)		0,19 (5,6)		0,03 (3,3)		0,10 (1,8)		0,10 (3,9)		-		-	
„ trafo	0,35 (2,8)		1,95 (19,2)		2,98 (24,5)		1,65 (34,9)		0,42 (12,0)		-		-		0,65 (19,1)		1,12 (13,0)		0,61 (11,1)		0,31 (12,0)		0,01 (0,8)		0,19 (9,8)	
„ luidspreker(boxen)	2,10 (16,8)		-		-		-		-		-		-		-		0,05 (5,4)		0,75 (13,6)		-		0,07 (5,7)		0,13 (6,7)	
„ printplaten	0,40 (3,2)		1,19 (11,7)		0,67 (5,5)		0,43 (9,1)		0,24 (6,9)		0,82 (25,3)		0,66 (15,8)		0,70 (20,6)		0,05 (5,4)		0,24 (4,3)		0,09 (3,5)		0,31 (25,4)		0,30 (15,5)	
Aantal printplaten	4		7		8		7		4		3		6		5		1		1		1		1		3	
Printplaatonderdelen (stuks):																										
Zekeringen	2		2		2		4		-		3		3		-		-		-		-		-		-	
Schakelaars	4		7		14		3		5		4		5		6		1		-		1		2		4	
Potmeters	4		21		4		5		7		8		8		9		1		5		7		1		5	
Spoelen	12		15		2		-		5		8		7		4		-		-		-		9		12	
Weerstanden	138		234		103		101		133		129		155		290		14		23		17		32		135	
Condensatoren	131		170		49		63		84		105		79		111		19		22		21		59		53	
Transistoren	21		39		32		24		18		19		20		48		2		-		1		-		16	
Dioden	20		13		14		8		7		10		20		25		2		4		5		9		4	
IC's	3		4		-		1		2		2		5		10		1		2		2		3		3	
LED's	1		-		-		-		1		1		16		35		-		-		1		-		-	
Aansluitingen	3		15		-		21		2		2		3													

BIJLAGE XI GEHALTE AAN ONDERDELEN/MATERIALEN IN AUDIO-APPARATUUR

Type	NOVOTEC midiset		PHILIPS tuner/versterker 22 AH 794/00		SCOTT versterker A 426		JVC versterker A-S3		HANSEATIC cassettedeck LD 500		TECHNICS cassettedeck RS-M5		SANYO cassettedeck RD 515		SONY cassettedeck TC-FX5		AUDIO SONIC cassettereorder CT 120		AUDIO SONIC platenspeler Discosound		AUDIO SONIC platenspeler AS 5010		FRONTECH rad.cass.rec. RC Q15L		Philips rad.cass.rec. D 8130/00	
	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)	(kg)	(gew%)
Totaal gewicht	12,51		10,18		12,17		4,73		3,49		3,24		4,18		3,40		0,92		5,52		2,58		1,22		1,94	
Gew. kunststof	2,77	(22,1)	0,98	(9,6)	-		-		-		0,99	(30,6)	0,3	(7,2)	0,01	(0,3)	0,34	(37,0)	2,59	(46,9)	2,0	(77,5)	0,72	(59,0)	1,17	(60,3)
" metalen ferro	5,75	(46,0)	1,86	(18,3)	7,18	(59,0)	1,94	(41,0)	1,39	(39,8)	0,91	(28,1)	3,03	(72,5)	1,57	(46,2)	0,33	(35,9)	1,23	(22,3)	0,05	(1,9)	0,11	(9,0)	0,15	(6,7)
" " non-ferro	-		1,83	(18,0)	1,14	(9,4)	0,5	(10,6)	0,35	(10,0)	0,25	(7,7)	-		0,26	(7,9)	-		-		0,03	(1,2)	-		-	
" hout	-		1,71	(16,8)	-		-		0,81	(23,2)	-		-		-		-		-		-		-		-	
" hardboard	0,76	(6,1)	0,49	(4,8)	-		-		0,13	(3,7)	-		-		-		-		-		-		-		-	
" bedrading en bevesti- gingsmatr.	0,38	(3,0)	0,17	(1,7)	0,2	(1,6)	0,21	(4,4)	0,15	(4,3)	0,27	(8,3)	0,19	(4,5)	0,19	(5,6)	0,03	(3,3)	0,10	(1,8)	0,10	(3,9)	-		-	
" trafo	0,35	(2,8)	1,95	(19,2)	2,98	(24,5)	1,65	(34,9)	0,42	(12,0)	-		-		0,65	(19,1)	1,12	(13,0)	0,61	(11,1)	0,31	(12,0)	0,01	(0,8)	0,19	(9,8)
" luidspreker(boxen)	2,10	(16,8)	-		-		-		-		-		-		-		0,05	(5,4)	0,75	(13,6)	-		0,07	(5,7)	0,13	(6,7)
" printplaten	0,40	(3,2)	1,19	(11,7)	0,67	(5,5)	0,43	(9,1)	0,24	(6,9)	0,82	(25,3)	0,66	(15,8)	0,70	(20,6)	0,05	(5,4)	0,24	(4,3)	0,09	(3,5)	0,31	(25,4)	0,30	(15,5)
Aantal printplaten	4		7		8		7		4		3		6		5		1		1		1		1		3	
Printplaatonderdelen (stuks):																										
Zekeringen	2		2		2		4		-		3		3		-		-		-		-		-		-	
Schakelaars	4		7		14		3		5		4		5		6		1		-		1		2		4	
Potmeters	4		21		4		5		7		8		8		9		1		5		7		1		5	
Spoelen	12		15		2		-		5		8		7		4		-		-		-		9		12	
Weerstand	138		234		103		101		133		129		155		290		14		23		17		32		135	
Condensatoren	131		170		49		63		84		105		79		111		19		22		21		59		53	
Transistoren	21		39		32		24		18		19		20		48		2		-		1		-		16	
Diodes	20		13		14		8		7		10		20		25		2		4		5		9		4	
IC's	3		4		-		1		2		2		5		10		1		2		2		3		3	
LED's	1		-		-		-		1		1		16		35		-		-		1		-		-	
Aansluitingen	3		15		-		21		2		2		3		12		4		-		-		1		-	
Trafo's	-		-		-		-		-		1		1		-		-		-		-		1		-	
Oppervlakte printplaten (dm²)																										

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XII-1

BIJLAGE XII: TOEGEPASTE MATERIALEN IN EEN AANTAL ELEKTRONIKACOMPONENTEN

1. Halfgeleiders

* Basismaterialen.

Hoofdzakelijk wordt silicium toegepast. In sommige gevallen wordt germanium gebruikt. Bij de produktie van licht-emitterende diodes (LED's) wordt gebruik gemaakt van gallium arsenide (GaAs) en gallium fosfide (GaP).

* Toevoegingen.

Er worden verbindingen toegevoegd aan de silicium-drager om de geleidbaarheid te verhogen. De meest toegepaste toevoegingen zijn op basis van borium, fosfor, arseen en antimoon (bijvoorbeeld B_2H_4 , BCl_3 , PH_3 , $POCl_3$, AsH_4 , AsF_6). De toevoegingen kunnen ook aluminium, gallium, goud, beryllium, germanium, magnesium, silicium, telluur of tin bevatten.

* Passiverende en isolerende materialen.

De meest toegepaste materialen zijn siliciumdioxide en siliciumnitride.

* Metalen.

Metalen worden aangebracht om elektrische contacten te verwezenlijken. Toegepaste metalen zijn aluminium, goud, chroom, tin, palladium, nikkel, titaan, zilver, koper en platina.

2. Condensatoren

* Geleiders.

Hoofdzakelijk wordt aluminium gebruikt, echter in geval van miniatuur en sub-miniatuur toepassingen ook tantaal. Minder toegepast worden tin-lood, tin, messing en koper. In een aantal gevallen wordt een coating van zilver, nikkel of cadmium toegepast.

* Dielectrische elementen.

Deze bevatten harsen, keramische poeders en mengsels van barium-, strontium-, calciumtitanaat of loodniobaat.

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XII-2

* Elektrolytische vloeistof.

Deze wordt gebruikt in elektrolytische condensatoren en bevat zuur, glycol en zouten (bijvoorbeeld lithiumchloride).

* Aanvoerdraden.

Meest gebruikt materialen zijn koper en tantaal.

3. Weerstanden

* Weerstandselement.

Toegepaste materialen in weerstanden op koolstofbasis zijn koolstof of grafiet waaraan een vulmiddel, gewoonlijk silicium, en een synthetische hars worden toegevoegd. Weerstanden op basis van een metaal-film zijn opgebouwd uit metaallegeringen of -oxides, bijvoorbeeld nikkel-chroom legering of tin-oxide met een toevoeging van antimoon.

* Isolatiemateriaal.

Glas, keramiek, polyester, plastics etc. kunnen toegepast worden.

* Contacten.

Deze worden alleen toegepast in variabele weerstanden en zijn van fosfor brons of messing.

* Aanvoerdraden.

Deze worden gewoonlijk gemaakt van koper of aluminium.

4. Printplaten

* Basismateriaal.

Glas, keramiek of kunststof.

* Geleiding.

Hoofdzakelijk wordt koper gebruikt, maar ook nikkel, goud en rhodium worden toegepast.

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XII-3

* Katalysator.

Op de printplaat bevindt zich een dunne laag palladium.

* Overige materialen.

Naast bovengenoemde materialen kunnen printplaten een breed scala aan materialen bevatten zoals adhesie promotors, etsmiddelen, chelaterende verbindingen, etc.

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIII-1

BIJLAGE XIII: NEUTRONENACTIVERINGSANALYSE

Bij de toepassing van neutronenactiveringsanalyse is het in principe zo, dat alle elementen die geactiveerd kunnen worden, door bestraling met neutronen, radioactief worden gemaakt. Een te onderzoeken monster, waarin elementgehalten moeten worden bepaald, wordt daartoe ingewogen in een polytheen capsule, waarna deze capsule gedurende een geschikte tijd wordt bestraald met neutronen. Dit gebeurt in de Hoger Onderwijs Reactor in Delft met behulp van een buizenpostsysteem. Na activering van de elementen zendt elk element specifieke gammastraling uit die karakteristiek is voor elk element. Naast specifieke gamma-energieën heeft elk element ook een eigen halfwaardetijd die kan variëren van seconden tot jaren. Door nu kort na de bestraling een gammaspectrum op te nemen, kunnen kortlevende elementen worden gemeten. Een meting na enkele dagen levert de elementen met een lange halfwaardetijd.

De metingen worden uitgevoerd met een Germanium halfgeleiderdetector die een zeer hoog oplossend vermogen heeft en in staat is alle uitgezonden gamma-energieën naast elkaar te detecteren, zonder dat vooraf een scheiding aan het oorspronkelijke monster hoeft te worden uitgevoerd.

Met behulp van computerprogramma's kunnen de gemeten gamma-energieën in een gammaspectrum worden toegeschreven aan een bepaald element en de intensiteit van de desbetreffende gammalijn levert het gehalte van dit element.

De bepaling is gebaseerd op een "single comparator" methode met zink als referentie-element, dat tijdens de bepaling naast een monster meegaat.

Bestralingscondities

Monstergewicht	200 mg
Bestralingstijden	3 sec, 2 hr
Wachttijden	15 min, 6 dagen, 3 weken
Meettijden	5 min, 1 hr, 3 hr.

Zowel bij de korte meting als bij de middenmeting was de activiteit, gevormd uit het mangaan overheersend.

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIV-1

BIJLAGE XIV: ANALYSES VAN PRINTPLAATFRACTIES

Tabel 1 Resultaten (concentraties in mg/kg)

	3 x monster pc-nieuw ¹⁾		
	1	2	3
Na	2.300	1.330	1.900
Al	44.300	51.500	48.100
Cl	2.110	1.710	1.750
K	< 110.000	< 100.000	< 95.000
Sc	2.1	< 1.4	1.7
Ti	< 16.000	< 12.000	< 11.000
V	< 260	< 170	< 160
Cr	1.650	1.760	1.420
Mn	17.800	23.500	23.200
Fe	111.500	117.500	95.800
Co	88	88	74
Ni	3.350	3.660	2.480
Cu	33.600	41.900	35.600
Zn	14.650	15.800	13.100
Ga	< 950	< 1.150	< 900
Ge	< 230.000	< 240.000	< 240.000
As	< 43	< 46	< 66
Se	< 10	< 10	< 8
Br	25.800	28.000	27.070
Rb	< 190	< 82	< 64
Sr	< 1.000	< 1.000	< 800
Zr	< 1.100	< 1.000	< 800
Mo	220	< 100	146
Ru	< 63	< 62	< 47
Rh	< 2.700	< 1.900	< 1.800
Pd	< 820	< 1.600	< 1.200
Ag	667	998	607
Cd	381	421	383
In	< 2.2	< 1.8	< 1.6
Sn	33.000	34.400	26.650
Sb	4.500	4.830	4.180
I	< 190	< 170	< 160
Cs	1.5	2.2	< 1.5
Ba	4.100	3.210	3.440
La	34	27	25

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIV-2

Vervolg tabel 1 Resultaten (concentraties in mg/kg)

	1	2	3
Ce	56	55	43
Pr	< 690	< 750	< 790
Eu	1.7	1.8	2.1
Tb	< 0.3	< 1	< 0.7
Yb	< 4	< 4	< 3
Lu	< 0.5	< 0.5	< 0.4
Hf	6	5	5
Ta	313	138	124
W	< 63	56	< 70
Ir	< 0.05	< 0.05	< 0.04
Au	78	91	106
Hg	8.3	13	5.8
Th	3.1	2.7	2.2
U	< 35	< 36	< 36

1) Pc-nieuw: printplatenfractie van relatief nieuwe personal computers

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIV-3

Tabel 2 Resultaten (concentraties in mg/kg)

	3 x monster mix ²⁾		
	1	2	3
Na	2.300	1.900	2.000
Al	53.500	71.000	66.400
Cl	3.060	3.450	2.980
K	< 94.000	< 90.000	< 100.000
Sc	2.8	2.7	2.7
Ti	< 14.000	< 13.000	< 11.000
V	< 210	< 210	< 150
Cr	1.010	984	997
Mn	16.900	15.400	16.700
Fe	96.200	117.000	113.000
Co	81	118	75
Ni	2.960	15.800	2.980
Cu	42.200	42.700	49.900
Zn	21.530	20.000	22.980
Ga	< 920	< 780	< 570
Ge	< 180.000	< 180.000	< 180.000
As	< 33	< 34	< 31
Se	< 7	4	< 7
Br	15.480	14.300	14.500
Rb	< 55	< 31	< 55
Sr	< 700	< 800	< 700
Zr	270	490	392
Mo	< 130	< 130	< 130
Ru	17	18	16
Rh	< 2.200	< 2.300	< 1.700
Pd	< 1.100	< 1.100	< 1.100
Ag	703	669	650
Cd	369	320	352
In	< 2	< 2	3
Sn	32.200	36.200	31.800
Sb	2.940	2.700	2.830
I	< 170	< 160	< 160
Cs	< 1.7	1.2	1.9
Ba	2.430	2.740	2.820
La	85	59	70

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIV-4

Vervolg tabel 2 Resultaten (concentraties in mg/kg)

	1	2	3
Ce	22	21	21
Pr	< 670	< 790	< 760
Eu	2	2	< 0.8
Tb	< 0.6	< 0.4	< 0.6
Yb	< 2	< 2	< 2
Lu	< 0.4	< 0.4	< 0.2
Hf	4.9	5.6	6.1
Ta	49	103	24
W	< 38	< 50	< 51
Ir	< 0.03	< 0.03	< 0.03
Au	33	19	42
Hg	9.1	8.6	7.3
Th	2.8	2.9	2.5
U	< 26	< 26	< 26

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

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIV-5

Tabel 3 Resultaten (concentraties in mg/kg)

	3 x monster oud ³⁾		
	1	2	3
Na	1.100	1.850	1.800
Al	48.800	47.000	46.500
Cl	1.220	1.290	1.950
K	< 89.000	< 88.000	< 94.000
Sc	3.2	3.2	3.0
Ti	< 9.500	< 8.700	12.600
V	< 120	< 100	< 180
Cr	1.070	1.170	986
Mn	17.200	17.100	19.000
Fe	76.600	80.800	73.100
Co	86	92	86
Ni	2.080	2.180	1.870
Cu	30.000	29.200	30.100
Zn	14.270	14.800	13.400
Ga	< 790	< 780	2.250
Ge	< 290.000	< 300.000	< 280.000
As	< 96	< 61	< 57
Se	< 13	< 9.2	< 9.6
Br	30.200	30.400	28.000
Rb	< 71	< 42	< 67
Sr	< 900	< 940	< 830
Zr	< 870	460	640
Mo	623	630	484
Ru	16	< 91	< 75
Rh	< 1.400	< 1.300	< 2.100
Pd	< 1.400	< 1.500	< 1.400
Ag	1.120	1.120	919
Cd	358	304	315
In	< 1.4	< 1.5	3.3
Sn	16.700	17.300	15.000
Sb	4.240	4.360	3.850
I	< 150	< 140	< 170
Cs	< 2.1	< 2.2	1.5
Ba	5.870	6.650	5.890
La	31	25	25

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XIV-6

Vervolg tabel 3 Resultaten (concentraties in mg/kg)

	1	2	3
Ce	23	25	19
Pr	< 1.100	< 1.200	< 1.100
Eu	1.7	< 1.2	< 1.2
Tb	< 0.8	< 0.9	< 0.8
Yb	< 3	< 5	< 3
Lu	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Hf	11	12	11
Ta	100	151	88
W	< 87	< 92	< 86
Ir	< 0.04	< 0.04	< 116
Au	68	95	48
Hg	< 18	18	< 13
Th	4.5	4.3	4.2
U	< 41	< 42	< 38

3) Oud: printplatenfractie van relatief oude personal computers

88-21/R.22/C1/IVS

bijlage XV-1

BIJLAGE XV: ANALYSES MET NAT-CHEMISCHE TECHNIEKEN

Toegepaste methode en resultaten

De monsters ontsloten volgens NEN 6465 (ontsluiting met koningswater). Analyses zijn uitgevoerd met IP-AES. Analyseresultaten staan vermeld in de tabel. De gehalten zijn opgegeven in mg L^{-1} in de verkregen vloeistof. De opgegeven gehalten kunnen worden teruggerekend naar de gehalten in de vaste stof, door de getabelleerde waarden met 40 te vermenigvuldigen (2,5 gram in 100 ml).

Tabel 1 Analyseresultaten (mg L^{-1})

	Pc-nieuw ¹⁾	Pc-oud ²⁾	Mix ³⁾
Au	2.7	1.28	1.85
Ag	0.8	3.3	3.0
Pt	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Pd	5.0	0.72	4.2
Ga	< 0.15	< 0.15	< 0.15
Ge	1.1	1.2	0.4

1) Pc-nieuw: printplatenfractie van relatief nieuwe personal computers

2) Pc-oud : printplatenfractie van relatief oude personal computers

3) Mix : printplatenfractie van een aantal audio-/video-apparaten

