TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon 055 - 549 34 93
Fax 055 - 541 98 37

Inventarisatie van de internationaal leverbare recyclingapparatuur voor de afscheiding van non-ferro's

Referentienummer 94-281
Dossiernummer 112322-24637
Datum december 1995
NP

Auteurs
C. Verschut
ir. A.M.M. Ansems
J.C. Pisa

Trefwoorden
- demolition
- equipment
- grinding
- inventory
- non-ferro
- recycling
- separation
- wastes

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-opdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Bestemd voor
Nationaal Onderzoekprogramma
Hergebruik van Afvalstoffen
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieugerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Colofon

Contractnummer: 353393/0110

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH).

Beheer en coördinatie van het NOH-programma berusten bij:

Novem
Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu B.V.
St. Jacobsstraat 61, Postbus 8242
3503 RE Utrecht
Tel: 030 - 36 34 44
Dit onderzoek is begeleid door: Ir. H.J.M. Kruijdenberg.

RIVM
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Antonie van Leeuwenhoeklaan 9, Postbus 1
3720 BA Bilthoven
Tel: 030 - 74 91 11
Dit onderzoek is begeleid door: ir. M. de Weerd.

Het NOH geeft geen garantie voor de juistheid en/of volledigheid van gegevens, ontwerpen, constructies, produkten of produktiemethoden voorkomende of beschreven in dit rapport, noch voor de geschiktheid daarvan voor enige bijzondere toepassing.

Het onderzoek is uitgevoerd door: TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie.

Datum van rapportage: 31-12-1995.

Meer exemplaren van dit rapport zijn tegen betaling van *f* 25,= verkrijgbaar bij TNO-ME, Apeldoorn.

Samenvatting

Het doel van het onderzoek dat TNO, afdeling Produkt- en ProduktieAfval, in opdracht van NOVEM en RIVM, in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) heeft uitgevoerd is, het inventariseren van de internationaal leverbare recyclingapparatuur voor de afscheiding van non-ferro's uit afvalstromen en het beoordelen van de toepassingsmogelijkheden in Nederland.
Deze inventarisatie is gebaseerd op literatuuronderzoek en op gesprekken met deskundigen, gebruikers en producenten van procesinstallaties.
De resultaten van deze inventarisatie tonen de volgende belangrijke aspecten aan:

- De procesroute, die wordt toegepast voor het opwerken van afvalstromen die non-ferrometalen bevatten, wordt in principe gedicteerd door de prijs/kwaliteitseisen die de afzetmarkt voor afgescheiden non-ferrometalen stelt.
- Voor het afscheiden van non-ferrometalen uit materialenmengsels zijn slechts enkele technieken materiaalspecifiek. Materiaalspecifiek wil zeggen dat voor die scheiding gebruik wordt gemaakt van die fysische eigenschappen waarbij de non-ferrometalen zich onderscheiden, bijvoorbeeld elektrische geleidbaarheid. De onderzochte, te noemen toe te passen technieken zijn.
  - sterke veldmagneetscheiding
  - wervelstroomscheiding
  - elektrostatische scheiding
  - sensor gestuurde scheiding

  De meest toegepaste materiaalspecifieke non-ferro scheidingstechniek is wervelstroomscheiding: *toepassing geschiedt ten behoeve van verwijdering van non-ferro metalen uit autoschroot, huishoudelijk afval en asresten van verbrandingsinstallaties.* Sensorgestuurde technieken zijn in dit opzicht veelbelovend maar zijn slechts beperkt ontwikkeld en worden nog niet op brede schaal in de praktijk toegepast.
  Van de niet-materiaalspecifieke technieken zijn onderzocht:
  - zeven
  - windziften
  - tafeltechnieken
  - fluidbed-scheiding
  - flotatie
  - drijf/zink-scheiding
  - hydrocyclonage
  - jiggen
  - ferromagnetische scheiding

  Wat betreft deze technieken wordt scheiding voornamelijk gerealiseerd op basis van verschillen in dichtheden tussen de te scheiden materialen: *veel toegepast worden onder andere de luchttafel voor kabelrecycling en drijf/zinkinstallaties voor het scheiden van non-ferro metalenmengsels, voornamelijk afkomstig van autoshredder installaties.*
- De leveranciers bieden speciaal toepasbare apparatuur aan. Veelal zijn deze apparaten voor specifieke toepassingen ontwikkeld (bijvoorbeeld de luchttafel ten behoeve van kabelverwerking en de Eddy Current scheider ten behoeve van shredderafvalverwerking). Voor gebruik in andere toepassingen (verwerking) van andere afvalstromen) dienen de desbetreffende apparaten aangepast of opnieuw ontworpen te worden.

Hoofdconclusie

De in de praktijk verkrijgbare scheidingsapparatuur is meestal voor een specifieke toepassing ontworpen. Dit houdt niet in dat deze apparatuur in generieke zin toepasbaar is.
Het verdient aanbeveling voor de verwerking van geselecteerde, non-ferro's bevattende, afvalstromen volledige verwerkingsprocessen te ontwerpen en te ontwikkelen. In deze ontwerpen komt de importantie van specifiek geselecteerde en speciaal ontworpen scheidingsapparatuur en de daaraan gerelateerde kosten tot uiting.

Resumerend luidt de hoofdconclusie[1)]
De leverbare scheidingsapparatuur is niet zonder meer toepasbaar.
Ten behoeve van de verwerking van specifieke afvalstromen dienen meestal specifieke scheidingsapparaten (in totaalprocessen) toegepast te worden.
Deze apparaten dienen,
- *of aangepast, c.q. gemodificeerd te worden,*
- *of specifiek nieuw ontworpen te worden.*

1) De hoofdconclusie is mede gebaseerd op de resultaten van proefnemingen met door TNO aangeschafte scheidingsapparatuur.
Op basis daarvan heeft TNO de toegeleverde apparaten aangepast of in plaats daarvan nieuwe ontworpen. Ten behoeve van het nader bepalen van specifieke procesparameterinstellingen en/of geometrische afmetingen van de apparaten heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie modellen ontwikkeld.

Summary

The objective of the research project, commissioned by NOVEM (Dutch Company for Energy and Environment) and RIVM (Dutch National Institute for Public Health and Environmental Hygiene) and conducted by the Product and Production Waste Department of TNO as part of the Dutch National Research Programme into Waste Materials Re-use (NOH), is to review the internationally available recycling equipment for separating non-ferrous materials from waste streams and to evaluate the application possibilities in the Netherlands.
This survey is based on a literature search and discussions with experts in and users and manufacturers of processing plants.
The results of this survey reveal the following important aspects:

- The processing route used for recycling waste streams containing non-ferrous metals is dictated in principle by the market-driven price/quality requirements for separated non-ferrous metals.
- Only a few methods are material-specific for separating non-ferrous metals from mixed waste. Material-specific means that the separation process makes use of the physical properties that differentiate non-ferrous metals, e.g. electrical conductivity. The methods in question that have been surveyed are:
  - strong field magnet separation
  - eddy current separation
  - electrostatic separation
  - sensor-controlled separation

  The most commonly used material-specific, non-ferrous separation method is eddy-current separation: *this is used to remove non-ferrous materials from car wrecks, household waste and ash residues from incinerators.* Sensor-controlled methods are promising in this respect but have seen only limited development and are not yet in widespread practical use.
  Of the non-material-specific methods, the following have been surveyed:
  - screening
  - air separation
  - table methods
  - fluidized bed separation
  - flotation
  - sink/float separation
  - hydrocyclone
  - vibrating bed
  - ferromagnetic separation

  These separation methods mainly work on the basis of differences in density between the materials to be separated: *systems which are commonly used include air tables for cable recycling and sink/float systems for separating non-ferrous metal mixtures, particularly from autoshredders.*
- The suppliers offer application-specific equipment. These machines have often been developed for particular uses (for example, the air table for cable processing, and the eddy current separator for processing shredder waste). If these machines are to be used for other applications (processing different waste streams), they must be adapted or redesigned.

Main conclusion

Commercially available separation equipment has mostly been designed for a specific application. This means that these machines cannot be used for general purposes.
It is recommended that complete processes be designed and developed to process selected waste streams containing non-ferrous metals. These designs will recognize the importance of specifically selected and specially designed separation equipment and the related costs.

The main conclusion can be summarized as follows[1]:
The available separation equipment is not always applicable.
Specific separation equipment (in integral processes) must mostly be used to process specific waste streams.
This equipment must
— *either be adapted or modified*
— *or be specifically redesigned.*

1) The main conclusion is based in part on testing with separation equipment purchased by TNO. Based on this, TNO adapted or redesigned the equipment supplied. TNO Environment, Energy and Process Innovation developed models to define more closely specific process parameter settings and/or geometric dimensions of the equipment.

Uitgebreide samenvatting

Probleemstelling

Door toename van het aantal toegepaste materialen en de introductie van nieuwe materialen en legeringen in consumentenprodukten en kapitaalgoederen worden afvallen qua materiaalsamenstelling steeds complexer. Voor het terugwinnen van materialen uit deze afvallen worden steeds meer geavanceerde technieken toegepast. Dit geldt met name voor het terugwinnen van non-ferrometalen uit afvallen, aangezien deze relatief een hoge waarde vertegenwoordigen.

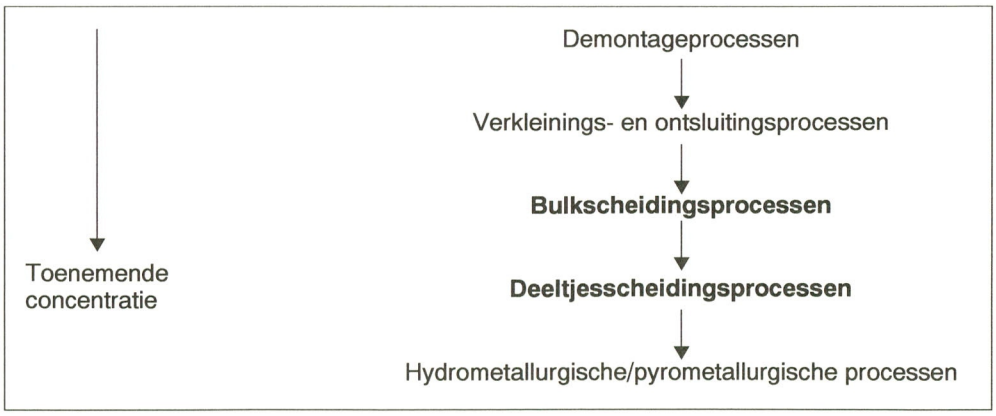
De huidige verwerking van afvalfracties met non-ferro's geeft mengsels metalen, of legeringen, met een bepaalde verontreinigingsgraad. Men kan stellen, dat relatief arme, laagwaardige concentraten worden afgescheiden. Bij aanbod in de markt wordt een lage prijs bedongen; er treedt relatief veel verlies aan metalen in slakken op bij secundaire smelt en biedt de afgassenproblematiek van de smelters relatief veel zorgen, vanwege de verschillende stoffen erin. Daarom wordt verdergaand concentreren en zuiveren van specifieke metalen als zeer wezenlijk beschouwd. Dit geldt niet alleen voor de verschillende non-ferro's onderling, maar ook voor de verschillende legeringen.

Doel

Het doel van het onderzoek dat TNO, afdeling Produkt- en ProduktieAfval, in opdracht van NOVEM en RIVM, in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) heeft uitgevoerd is, het inventariseren van de internationaal leverbare recyclingapparatuur voor de afscheiding van non-ferrometalen uit afvalstromen en het beoordelen van de toepassingsmogelijkheden in Nederland.

De toepassing van scheidingstechnieken is erop gericht rijke, zuivere concentraten af te scheiden.

Daarbij is de volgende procesketen te onderkennen:



Aangezien er verbanden bestaan, dienen de bewuste processen gekoppeld bezien te worden.

Voor het verkrijgen van rijke concentraten zijn met name de ***bulkscheidingstechnieken*** en de ***deeltjesscheidingstechnieken*** van belang.

Beschrijving onderzoek

Deze inventarisatie is gebaseerd op literatuuronderzoek en op gesprekken met deskundigen, gebruikers en producenten van procesinstallaties.
Het onderzoek gaat in op de noodzaak van het voorbehandelen van de te scheiden materialenmengsels. Daarnaast worden de principes van de hiervoor toepasbare scheidingstechnieken beschreven en worden gegevens over het toepassingsgebied en de leveranciers van scheidingsapparaten vermeld. Tenslotte worden de voor- en nadelen van de in het rapport beschreven non-ferro scheidingstechnieken behandeld en wordt aangegeven op welk gebied ontwikkelingen wenselijk of te verwachten zijn.

In dit rapport zijn met name de huidige leverbare bulkscheidings- en deeltjesscheidingsapparaten beschreven. Daarnaast zijn er belangrijke ontwikkelingen gegeven.

> *Benadrukt dient te worden, dat het een meer generieke beschrijving betreft. Het specifieke ontwerp van de scheidingsapparaten is afhankelijk van de hoedanigheid van de te verwerken afvalstroom (of afvalstromen), zoals samenstelling, deeltjesgrootte, deeltjesgroottеverdeling, vormen van de deeltjes, en de aard en de werking van de voor- en nageschakelde apparatuur.*

Huidig aanbod apparatuur

De resultaten van deze inventarisatie tonen de volgende belangrijke aspecten aan:
- De procesroute, die wordt toegepast voor het opwerken van afvalstromen die non-ferrometalen bevatten, wordt in principe gedicteerd door de prijs/kwaliteitseisen die de afzetmarkt voor afgescheiden non-ferrometalen stelt. Op basis van deze eisen worden keuzes gemaakt voor de verwerkingsroutes van non-ferrometalen bevattende afvalstromen.
- Voor het afscheiden van non-ferrometalen uit materialenmengsels zijn slechts enkele technieken materiaalspecifiek. Materiaalspecifiek wil zeggen dat voor die scheiding gebruik wordt gemaakt van die fysische eigenschappen waarbij de non-ferrometalen zich onderscheiden, bijvoorbeeld elektrische geleidbaarheid. De onderzochte, te noemen toe te passen technieken zijn.
  - sterke veldmagneetscheiding
  - wervelstroomscheiding
  - elektrostatische scheiding
  - sensor gestuurde scheiding

  De meest toegepaste materiaalspecifieke non-ferro scheidingstechniek is wervelstroomscheiding: *toepassing geschiedt ten behoeve van verwijdering van non-ferro metalen uit autoschroot, huishoudelijk afval en asresten van verbrandingsinstallaties.*
  Sensorgestuurde technieken zijn in dit opzicht veelbelovend maar zijn slechts beperkt ontwikkeld en worden nog niet op brede schaal in de praktijk toegepast.
  Van de niet-materiaalspecifieke technieken zijn onderzocht:
  - zeven
  - windziften
  - tafeltechnieken
  - fluidbed-scheiding
  - flotatie

- drijf/zink-scheiding
- hydrocyclonage
- jiggen
- ferromagnetische scheiding

Wat betreft deze technieken wordt scheiding voornamelijk gerealiseerd op basis van verschillen in dichtheden tussen de te scheiden materialen: *veel toegepast worden onder andere de luchttafel voor kabelrecycling en drijf/zinkinstallaties voor het scheiden van non-ferro metalenmengsels, voornamelijk afkomstig van autoshredder installaties.*

— De leveranciers bieden speciaal toepasbare apparatuur aan. Veelal zijn deze apparaten voor specifieke toepassingen ontwikkeld (bijvoorbeeld de luchttafel ten behoeve van kabelverwerking en de Eddy Current scheider ten behoeve van shredderafvalverwerking). Voor gebruik in andere toepassingen (verwerking van andere afvalstromen) dienen de desbetreffende apparaten aangepast of opnieuw ontworpen te worden.

Ontwikkelingen in het aanbod

Met uitzondering van de sensorgestuurde scheidingstechnieken worden alle andere non-ferro metaalscheidingstechnieken reeds geruime tijd voor de verwerking van specifieke afvalstromen toegepast. Dit geeft aan dat er nauwelijks sprake is van structureel nieuwe ontwikkelingen op dit gebied. Wel is de apparatuur, gebaseerd op deze bekende principes, qua constructie (bijvoorbeeld de keuze van magneetmaterialen van de permanente magneten), aangepast aan het huidige kennisniveau. Optimalisaties van de scheidingsapparatuur zouden de toepasbaarheid en de prestaties van de scheidingstechnieken aanzienlijk kunnen verbeteren.
Voorbeelden hiervan zijn:

— De ontwikkelingen op het gebied van de constructie van (inclusief keuze magneetmaterialen) sterke permanente magneten die van grote invloed zijn geweest op het verbreden van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders. Mogelijk kunnen verdere ontwikkelingen op dit gebied nog bijdragen aan de verdere verbreding van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders.

— Wat betreft de sensorgestuurde technieken is meestal de kwaliteit van de sensor wel voldoende. Vooral de monstervoorbereiding, het deeltje voor deeltje langs de sensor voeren en de uitvoering van de actuator krijgen in demonstratieprojecten onvoldoende aandacht. Hiermee kunnen de vaak tegenvallende prestaties van sensorgestuurde scheidingstechnieken worden verklaard. De prestaties van sensor-gestuurde scheidingstechnieken hangen af van de kwaliteit van de afzonderlijke onderdelen, de sensor, de signaalversterker en de actuator. In zo'n systeem is vooral de afstemming van deze onderdelen op elkaar van belang. Dit vormt een belangrijk ontwikkelingsgebied.

— Windzifters worden vaak als eerste grove concentratiestap in recyclingprocessen toegepast. Door introductie van apparaat- en energiegerichte optimalisaties aan de uitvoering van windzifters kunnen windzifters ook als relatief goedkoop apparaat, ten behoeve van de afscheiding van zuivere fracties, worden toegepast.

— Drijf/zink scheidingstechnieken worden, ondanks hun selectiviteit en ongevoeligheid voor variaties in deeltjesgrootte en vorm, alleen toegepast voor het scheiden van de non-ferrometalen afkomstig uit autowrakken.
Het toepassingsgebied van deze techniek kan aanzienlijk worden verbreed, indien optimalisaties aan apparatuur en vooral het medium worden gerealiseerd.

Toepassingsgebied apparatuur

In tabel 1 wordt de geschiktheid van technieken voor het scheiden van diverse materialenmengsels weergegeven. Tevens is in deze tabel aangegeven in hoeverre de technieken hiervoor op praktijkschaal worden toegepast.

Tabel 1 Geschiktheid en toepassing van technieken

Scheiden van	**Ferro/Non-ferro**		**Non-ferro/Niet geleidend (kunststoffen e.d.)**		**Non-ferro/Non-ferro**	
Scheiding gebaseerd op verschillen in	**Magnetische eigenschappen**		**Geleidbaarheid**		**Dichtheid**	
	Geschikt	**Toegepast**	**Geschikt**	**Toegepast**	**Geschikt**	**Toegepast**
Zeven	-	-	-	-	-	-
Windziften	-	-	o	+	o	-
Tafeltechnieken	-	-	o	+	o	+
Fluidbedscheiding	-	-	o	-	o	+
Flotatie	-	-	o	-	o	-
Drijf-/zinkscheiding	-	-	o	+	o	+
Hydrocyclonage	-	-	o	-	o	-
Jiggen	-	-	o	-	o	-
Ferro magnetische scheiding	+	+	-	-	-	-
Sterke veld magneetscheiding	-	-	o	+	o	+
Wervelstroomscheiding	-	-	+	+	o	+
Elektrostatische scheiding	-	-	+	+	-	-
Sensor gestuurde scheiding	o	-	+	+	o	+

Geschikt: - niet
+ wel
o mogelijk, indien de verschillen in fysische eigenschappen waarop de scheiding is gebaseerd of de verschillen in andere fysische eigenschappen voldoende groot zijn.

Toegepast: - niet
+ wel (apparatuur is leverbaar)

Voor het maken van de juiste keuze van de toe te passen scheidingstechniek moet bekend zijn op basis van welke fysische eigenschappen wordt gescheiden en welke eisen de apparatuur stelt aan de deeltjesgrootte van te scheiden mengsels. Tabel 2 geeft hiervan een overzicht.
Daarnaast bevat de tabel getallen over de capaciteiten en de apparatuurkosten (afschrijving, onderhoud en energie) verbonden aan de toepassing van de diverse technieken. Daarbij moet worden aangetekend dat het hierbij om globale cijfers gaat. Veel van deze grootheden zijn namelijk sterk apparaat- en leverancierafhankelijk. Daarnaast speelt in dat kader de specifieke toepassing, wat betreft de hoedanigheid van de te scheiden mengsels, een belangrijke rol.

Tabel 2 Overzicht technieken

Techniek	Materialen, afvalsoort	Scheiding op basis van verschillen in	Deeltjes-grootte (mm)	Capaciteit (t/h)	Kosten (ƒ/t)
Zeven	huishoud-bouw/sloop-shredderafval	grootte/vorm	+0,5 mm	1-100	1-2
Windziften	huishoud metaal/kunststof shredder	dichtheid grootte/vorm	0,1-10 mm	1-50	2-20
Tafel-technieken	shredder metaal/kunststof	dichtheid grootte/vorm	1-10 mm droog 0,1-5 mm nat	0,5-2	10-20
Fluidbed-scheiding	metaal/kunststof	dichtheid	0,3-10 mm	0,5-2	10-20
Flotatie	mineraal kunststof	dichtheid	0,1-50 mm	1-100	15-20
Drijf/zink-scheiding	non-ferro's kunststof	dichtheid	3-100 mm	1-100	10-15*)
Hydro cyclonage	kunststof klei/zand	dichtheid	0,01-10 mm	1-25	2-5
Jiggen	mineraal	dichtheid	1-50 mm	1-100	15-20
Ferro Magnetische scheiding	ferro's	magnetische ei-genschappen	+0,2 mm	1-20	1-2
Sterke veld magneet-scheiding	non-ferro/kunst-stof	zwak magnetisch eigenschappen	+0,2 mm	0,5-2	3-5
Wervelstroom-scheiding	non-ferro	geleidbaarheid dichtheid	2-100 mm	0,5-10	5-30
Electro statische-scheiding	metaal/kunststof	geleidbaarheid	0,1-5 mm	0,5-2	25 -50
Sensor gestuurde scheiding	non-ferro kunststof glas	optisch-electrisch-inductie-eigenschappen	5-100 mm	0,5-2	30-80

*) kosten/ton inclusief verbruik van suspensiemateriaal

Kosten

De via scheidingstechnieken teruggewonnen non-ferrometalen hebben afhankelijk van de soort en de marktsituatie een waarde die kan oplopen tot enkele duizenden guldens per ton. In dat kader bezien zijn de kosten/ton voor de scheidingtechnieken (*exclusief personeelskosten, zie § 5.1*) relatief gering.
De kosten/ton van de materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen ƒ 5-80,-/ton. Wervelstroomscheiding is van de praktisch toegepaste technieken de goedkoopste met een kostprijs van ƒ 5 -30,- /ton. De kostprijs van sensorgestuurde scheidingstechnieken is vanwege het exclusieve karakter nog relatief hoog en bedraagt circa ƒ 30-80,-/ton.

Van de niet-materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen de kosten/ton *f* 2-20,-. Dit is dus aanzienlijk lager dan de kosten/ton voor de materiaalspecifieke scheidingstechnieken. Vanuit kostenoverweging is het daarom aan te bevelen, om voor het afscheiden/scheiden van non-ferrometalen, in eerste instantie de niet specifieke technieken toe te passen alvorens de specifieke technieken worden ingezet. In de praktijk echter komen ook omgekeerde techniekvolgorden voor. Met name de combinatie wervelstroomscheiding gevolgd door drijf/zinkscheiding wordt algemeen toegepast bij de verwerking van autowrakken.

Hoofdconclusie

De in de praktijk verkrijgbare scheidingsapparatuur is meestal voor een specifieke toepassing ontworpen (bijvoorbeeld de scheiding van koper en kunststof, afkomstig van kabels met een speciaal daarvoor ontworpen luchttafel). Dit houdt niet in dat deze apparatuur in generieke zin toepasbaar is (bijvoorbeeld voor de scheiding van non-ferro's en kunststoffen). Meestal dienen toegeleverde apparaten ten behoeve van de scheiding van speciaal geselecteerde mengsels aangepast te worden.
Ten behoeve van de scheiding van **specifieke** afvalstromen, dient telkens een toegespitst ontwerp van een **specifiek** scheidingsapparaat gemaakt te worden. Dit toegespitste ontwerp hangt vooral samen met de voor- en nageschakelde apparatuur in het totale verwerkingsproces.

Resumerend luidt de hoofdconclusie[1)]
De leverbare scheidingsapparatuur is niet zonder meer toepasbaar.
Ten behoeve van de verwerking van specifieke afvalstromen dienen meestal specifieke scheidingsapparaten (in totaalprocessen) toegepast te worden.
Deze apparaten dienen,
- *of aangepast, c.q. gemodificeerd te worden,*
- *of specifiek nieuw ontworpen te worden.*

Aanbeveling

Zoals reeds eerder verwoord, is in het onderhavige rapport een meer generieke beschrijving van de internationaal leverbare apparatuur gegeven. Specifieke ontwerpen zijn afhankelijk van de selectie van de te verwerken afvalstroom (of -stromen) en de aard en de werking van de voor- en nageschakelde apparatuur.
Het verdient aanbeveling voor de verwerking van geselecteerde, non-ferro's bevattende, afvalstromen volledige verwerkingsprocessen te ontwerpen en te ontwikkelen. In deze ontwerpen komt de importantie van specifiek geselecteerde en speciaal ontworpen scheidingsapparatuur en de daaraan gerelateerde kosten tot uiting. Het is **dan** ook mogelijk de kostenrelatie gedetailleerder aan te geven.

1) De hoofdconclusie is mede gebaseerd op de resultaten van proefnemingen met door TNO aangeschafte scheidingsapparatuur.
Op basis daarvan heeft TNO de toegeleverde apparaten aangepast of in plaats daarvan nieuwe ontworpen. Ten behoeve van het nader bepalen van specifieke procesparameterinstellingen en/of geometrische afmetingen van de apparaten heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie modellen ontwikkeld.

Inhoudsopgave

Colofon 2

Samenvatting 3

Summary 5

Uitgebreide samenvatting 7

1 **Inleiding** 15

2 **Mengsels FNFKC's en NFKC's** 16

3 **Scheiden materialenmengsels** 19
3.1 Voorbehandeling 19
3.2 Scheiden naar materiaalklasse 20
3.3 Scheiden binnen materiaalklasse 20

4 **Beschrijving technieken** 22
4.1 Algemeen 22
4.2 Droog mechanische technieken 23
4.2.1 Zeven 23
4.2.2 Windziften 23
4.2.3 Tafeltechnieken 24
4.2.4 Fluïdbedscheiding 26
4.3 Nat mechanische technieken 27
4.3.1 Flotatie 27
4.3.2 Drijf/zinktechnieken 27
4.3.3 Hydrocyclonage 28
4.3.4 Jiggen 29
4.3.5 Tafeltechnieken 29
4.4 Electromagnetische technieken 31
4.4.1 Ferromagnetische technieken 31
4.4.2 Sterke veld magneettechnieken 31
4.4.3 Wervelstroom (Eddy Current) technieken 31
4.4.4 Electrostatische technieken 32
4.5 Sensorgestuurde scheidingstechnieken 34

5 **Toepassingsgebied en leveranciers** 36
5.1 Toepassingsgebied 36
5.2 Leveranciers 38

6 **Voordelen, nadelen en ontwikkelingen van non-ferro scheidingstechnieken** 39
6.1 Specifieke non-ferro scheidingstechnieken 39
6.1.1 Sterke veld magneetscheiding 39
6.1.2 Wervelstroomtechnieken 40
6.1.3 Electrostatische technieken 40
6.1.4 Sensorgestuurde scheidingstechnieken 41

6.2 Niet specifieke non-ferro scheidingstechnieken 42
6.2.1 Windziften 42
6.2.2 Tafeltechnieken 43
6.2.3 Drijf/zinkscheiding 43

7 Evaluatie en hoofdconclusies 45
7.1 Evaluatie 45
7.2 Hoofdconclusie 47

8 Literatuur 48

9 Verantwoording 53

Bijlage 1 Brochures van leveranciers

1 Inleiding

Continu plaatsvindende materialensubstituties en de introductie en toepassing van 'nieuwe' materialen heeft mede tot gevolg, dat op termijn de afvalsamenstelling complexer wordt. Dit wordt versterkt door een toename in de diversiteit van toegepaste materialen, geconsumeerde produkten en kapitaalgoederen. Op de grondstoffenmarkt heerst een toenemende concurrentie tussen ferro, non-ferro's, kunststoffen, nieuwe materialen (zoals composieten, supersterke vezels) etc. Haaks daarop staat, dat de potentiële afnemers van secundaire grondstoffen uit afvallen, steeds hogere kwaliteitseisen stellen.
Het bovenstaande houdt in, dat de recuperatie steeds verdergaand sorteert en nieuwe, steeds meer geavanceerde scheidingstechnieken in de recyclingbranche toevoegt. De behoefte aan technologische innovatie wordt eveneens in de non-ferro branche voortdurend onderkend.
Gezien de vele toegepaste non-ferro's en het sterk verspreide gebruik ervan is de ontwikkeling en implementatie van vele scheidingstechnische concepten een realiteit. Dit wordt gestimuleerd door de relatief gezien hoge opbrengsten van belangrijke non-ferro's.
In dit kader wordt een indeling van toe te passen scheidingstechnieken en installaties op basis van een internationaal brede inventarisatie als een belangrijke uitbreiding van de informatiebehoefte gekenschetst.

TNO, afdeling Produkt- en ProduktieAfval, heeft in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) de onderhavige inventarisatie uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu (NOVEM) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM).

De inventarisatie en indeling van toe te passen scheidingsapparatuur houdt in, dat van de betreffende apparatuur het toepassingsgebied, aard en werkingsprincipe van de techniek, het ontwikkelingsstadium en het kostenniveau in beeld gebracht wordt. De studie is gebaseerd op literatuuronderzoek, op gesprekken met deskundigen en bedrijven met praktische ervaringen, op indrukken en kennisvermeerdering als gevolg van bezoeken aan producenten van procesinstallaties en op apparatuur gebaseerde beurzen.

De resultaten van het onderzoek zijn in eerste instantie bestemd voor leden van de branche 'Vereniging Herwinning Non-ferro Metalen', met andere woorden van de non-ferro recycling industrie in Nederland.

In hoofdstuk 2 is het probleemgebied geschetst. Daarop volgend is in hoofdstuk 3 aangegeven welke niveaus met betrekking tot scheiden te onderkennen zijn. Het betreft achtereenvolgens het ontsluiten, het vrijmaken van materialen, het scheiden van materialen naar materiaalklassen en het scheiden van materialen binnen de materiaalklasse.
De algemene beschrijving van technieken is in hoofdstuk 4 gegeven. In hoofdstuk 5 zijn de toepassingsgebieden beschreven en de leveranciers genoemd. Daarop volgend zijn in hoofdstuk 6 de voor- en nadelen van specifieke technieken gegeven en zijn in het onderhavige hoofdstuk de ontwikkelingen beschreven. Tenslotte volgen evaluatie en conclusies in hoofdstuk 7.

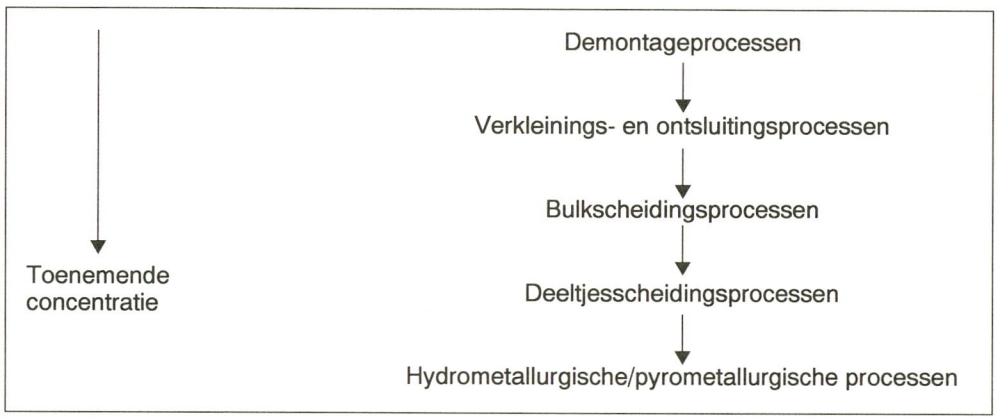
2 Mengsels FNFKC's en NFKC's

Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven, wordt de recycling bemoeilijkt door een toename van het aantal onderdelen, materialen en verbindingstechnieken in afgedankte, te verwerken goederen (consumptie- en kapitaalgoederen).
Materialencombinaties, zoals laminaten en verbindingstechnieken, zoals lassen, lijmen en solderen bevorderen niet de metaalrecycling.
De toename in complexiteit wordt onder andere gekarakteriseerd door een toename in het aantal toegepaste legeringen.
De verwerking van afgedankte consumptie- en kapitaalgoederen geeft veelal mengsels van metalen en kunststoffen.
Men spreekt ook wel van FNFKC's (Ferro/Non-Ferro/Kunststof-Combinaties) en NFKC's (Non-Ferro/Kunststof-Combinaties).
Deze combinaties worden onder andere teruggevonden in de produktafvallen autowrakken, koelkasten, wasmachines, PC's, grondkabels, telefoonkabels, verpakkingsmaterialen en sandwichpanelen.
In het branchedocument metaalrecuperatie wordt het afval verdeeld in bewerkingsafval en bedrijfsafvallen, vrijkomende afvallen op het bedrijfsterrein van de metaalrecuperant. Bewerkingsafvallen zijn onder andere papier/karton, hout, glas, kunststoffen en rubbers.
Bedrijfsafval is onder andere shredderafval, een afvalstroom van circa 140.000 ton per jaar, bestaande uit onder andere kunststoffen, rubbers, glas, textiel en hout.
In dit branchedocument wordt eveneens het probleem van de verwerking van NFKC's aangevoerd.

De huidige verwerking van de hiervoor genoemde produktafvallen geeft mengsels metalen, of legeringen met een bepaalde verontreinigingsgraad. Men kan stellen, dat relatief arme, laagwaardige concentraten worden afgescheiden. Bij aanbod in de markt wordt een lage prijs bedongen; er treedt relatief veel verlies aan metalen in slakken op bij secundaire smelt en biedt de afgassenproblematiek van de smelters relatief veel zorgen, vanwege de verschillende stoffen erin. Daarom wordt verdergaand concentreren en zuiveren van specifieke metalen als zeer wezenlijk beschouwd. Dit geldt niet alleen voor de verschillende non-ferro's onderling, maar ook voor de verschillende legeringen, zoals:
- de verscheidene roestvrijstaal legeringen,
- kneedaluminium versus gietaluminium,
- de verscheidene zink legeringen.

De recycling, de toepassing van scheidingstechnieken, is erop gericht hoogwaardige concentraten af te scheiden. Hoogwaardig houdt in principe de afscheiding van rijke, zuivere concentraten in.

Daarbij is de volgende procesketen te onderkennen:



Aangezien er verbanden bestaan, dienen de bewuste processen gekoppeld bezien te worden.
Voor het verkrijgen van rijke concentraten zijn met name de bulkscheidingstechnieken en de deeltjesscheidingstechnieken van belang.

Daarbij geldt het volgende:
- afscheiding van non-ferro's en ferro's van de overige materiaalklassen (bulkscheidingstechnieken),
- scheiding van non-ferro's onderling binnen de materiaalklasse en de magnetische van de niet-magnetische ferro's (bulkscheidingstechnieken/deeltjesscheidingstechnieken),
- scheiding van de verschillende legeringen onderling, indien een concentraat van een specifiek metaal verkregen is (bulkscheidingstechnieken/deeltjesscheidingstechnieken).

Om vermelde scheidingen te kunnen realiseren, verdienen kennisvermeerdering en informatie-overdracht over bulkscheidingstechnieken en deeltjesscheidingstechnieken aandacht.
Uitgangspunt daarbij vormt kennis over de verschillen in fysische en chemische eigenschappen van de diverse materialen, de materiaaleigenschappen.
Deze inherente eigenschappen zijn als voorbeeld voor de vijf materiaalklassen (metalen, kunststoffen, rubbers, minerale materialen en organische materialen) in onderstaande tabel gegeven.

Tabel 3 Materiaalklassen

Materiaalklasse / Eigenschappen	Metalen	Kunst-stoffen	Rubbers	Minerale materialen	Organische materialen
hardheid	zeer hoog	laag	zeer laag	hoog	zeer laag
elasticiteit	laag	hoog	zeer hoog	zeer laag	divers
ductiliteit	medium	hoog	zeer hoog	zeer laag	divers
hittebestendigheid	hoog	laag	zeer laag	zeer hoog	laag
glans	hoog	medium	laag	zeer laag	laag
kristallijn/amorf	kristallijn	veelal amorf	amorf	vrijwel amorf	amorf
geleidbaarheid	zeer hoog	laag	laag	laag	laag
magnetische eigenschappen	divers	laag	laag	laag	laag
lichtdoorlatend	geen	divers	divers	geen	divers
smeltpunt	hoog	laag	laag	nvt	nvt
aantal elementen	1 hoofdelem.	2 of meer	3 of meer	2 of meer	vele
homogeniteit	hoog	divers	divers	divers	divers
veroudering	vrijwel niet	divers	hoog	laag	divers
dichtheid	hoog	laag	laag	medium	laag

Naast de materiaaleigenschappen zijn de deeltjeseigenschappen (onder andere grootte, vorm en oppervlakteruwheid) van belang als men materialen mengsels beschouwt.

Dus résumerend als men de afscheiding van rijke, zuivere concentraten nastreeft, zijn de volgende aspecten van wezenlijke aard:

a. voldoende ontsluiting, vrijmaken van materialen in een te verwerken afvallenfractie,
b. voldoende onderkenning van verschillen in materiaaleigenschappen respectievelijk deeltjeseigenschappen.

3 Scheiden materialenmengsels

3.1 Voorbehandeling

Voordat er te scheiden materialenmengsels verkregen zijn, moeten afvallen veelal worden voorbehandeld. Het doel van deze processtappen is het volledig vrijmaken, het volledig ontsluiten van de samenstellende materialen. Het betreft ontmantelings- en verkleiningsprocessen.

— *Ontmanteling.*
Ontmantelingsprocessen worden ingezet bij de verwerking van complex samengestelde produkten. Dit zijn produkten, samengesteld uit onderdelen, die met verschillende verbindingstechnieken geïntegreerd het geheel vormen. De ontmanteling is gericht op het verkrijgen van specifieke onderdelengroepen. Daarbij is het hoofddoel het concentreren van bepaalde afzetbare onderdelen of materialen en potentieel milieubelastende materialen.
De ontmanteling van complexe produkten is meestal, gezien het handmatige karakter, een relatief kostbare processtap. Daarom zal altijd getracht worden de inspanningen ten behoeve van de ontmanteling te verlagen. Het is daarom zinvol na te gaan in hoeverre de verschillende ontmantelingsstappen bijdragen aan het hoofddoel 'concentreren van materialen'. Om dit te kunnen bepalen is het noodzakelijk dat de onderdeel- en materiaalsamenstelling van het te recyclen produkt nauwkeurig wordt vastgesteld.

— *Verkleining.*
Het verkleinen van onderdelen heeft als doelen:
a. Het, voor vervolgprocesstappen zoals scheiden, op de gewenste stukgrootte brengen van de onderdelenfracties.
b. Het ontsluiten van de materialen uit de onderdelen.
Vaak zijn meerdere verkleinstappen noodzakelijk om de voor een bepaalde scheidingstechniek gewenste optimale deeltjesgrootte en deeltjesvorm te realiseren.
Voor het verkleinen van onderdelen en het ontsluiten van materialen uit de onderdelen is een groot scala aan apparatuur op de markt beschikbaar. Daarbij worden meestal de volgende principes toegepast:
- Verkleinen door slag/bots werking.
Apparaten werkend volgens dit principe zijn bijvoorbeeld hamermolens/ shredders.
Deze molens zijn opgebouwd uit een sneldraaiende (> 500 r.p.m.) rotor waarop beweegbare hamers en/of slaglijsten zijn gemonteerd. Door de hoge omtreksnelheid van deze hamers worden materialen stukgeslagen en ook gedeeltelijk door botsing met de molenwand en de slaglijst verkleind. Deze molens komen in diverse formaten voor. De grootste uitvoering hiervan wordt toegepast voor het verkleinen van autowrakken.

- Verkleinen door snijwerking.
  Apparaten werkend volgens dit principe zijn granulatoren/messenmolens. Het principe van deze molens is dat de materialen worden geknipt tussen beweegbare messenparen. De messen worden aangebracht op de rotor (dynamische messen) en/of in het maalhuis (statische messen). Molens met één tot maximaal vier rotoren komen voor.
  De messenmolens met één rotor, meestal granulatoren genoemd, hebben een rotortoerental van > 500 r.p.m. In dat geval bevinden zich de dynamische messen op de rotor en zijn de statische messen in het maalhuis gemonteerd. Dergelijke granulatoren zijn gevoelig voor beschadiging en slijtage van de messen en worden in principe toegepast voor het vermalen van relatief zachte produkten zoals papier en kunststof. Ook de zachtere metalen, zoals koper en aluminium, kunnen met deze granulatoren succesvol worden verkleind. Meestal bevindt zich onder in het maalhuis een zeefconstructie waardoor de maximale stukgrootte van het maalgoed wordt bepaald. De minimale deeltjesgrootte die met deze granulatoren kan worden gerealiseerd ligt op circa 1 mm.
  De messenmolens met meer dan één rotor, vaak ook als shredders aangeduid, hebben een rotortoerental van < 100 r.p.m. Op de tegen elkaar indraaiende rotoren zijn messenschijven gemonteerd, waartussen de materialen worden gesneden. Deze messenmolens zijn met name vanwege hun geringe toerental minder gevoelig voor beschadiging en slijtage van de messenschijven. Ze worden toegepast voor verkleinen van zowel volumineuze zachte produkten als voor het verkleinen van dunwandige metalen voorwerpen. Een belangrijk toepassingsgebied is bijvoorbeeld huishoudelijk afval en groente-, fruit- en tuinafval. Ook bij deze molens kan onder in het maalhuis een rooster worden geplaatst waardoor de maximale stukgrootte van het maalgoed wordt bepaald. De minimale deeltjesgrootte die met deze meerassige messenmolens kan worden gerealiseerd ligt op circa 15 mm.

3.2 Scheiden naar materiaalklasse

Hieronder wordt verstaan het scheiden van een materiaalmengsel in ferro metalen, non-ferro metalen, kunststoffen, glas etc. Voor deze scheiding maakt men veelal gebruik van verschillen, tussen de materiaalklassen, in dichtheid en electromagnetische eigenschappen. Vanwege de meestal grote verschillen, tussen de fysische eigenschappen van materiaalklassen, is scheiding goed uitvoerbaar en wordt op grote schaal in de praktijk toegepast.

3.3 Scheiden binnen materiaalklasse

Hieronder wordt verstaan het scheiden van een materiaalklasse (bijvoorbeeld non-ferro metalen) in de afzonderlijke materialen zoals koper, aluminium, lood etc. Ook hier maakt men voor de scheiding veelal gebruik van verschillen in dichtheid en electro/magnetische eigenschappen. Echter vanwege de vaak geringe verschillen, tussen de fysische eigenschappen, is scheiding minder goed uitvoerbaar. Dit ook met name vanwege het feit dat de bestaande scheidingsapparatuur niet goed werkt bij klei-

ne verschillen in fysische eigenschappen. Technisch gezien liggen hier de kansen voor het verder ontwikkelen van herkennings- en scheidingstechnieken.
Nog moeilijker is het scheiden van legeringen van metalen. Hiervoor is momenteel naast visuele herkenning nauwelijks geautomatiseerde scheidingsapparatuur beschikbaar.
In hoofstuk 5.1 zal voor de diverse technieken worden aangegeven voor welke scheiding van mengsels ze kunnen worden toegepast.

4 Beschrijving technieken

4.1 Algemeen

Voor het afscheiden/scheiden van non-ferro's uit mengsels maakt men gebruik van verschillen in fysische eigenschappen waardoor materialenmengsels te splitsen zijn in deelstromen.
In principe komen alle fysisch/mechanische eigenschappen van materialen in aanmerking om scheiding tussen materialen te realiseren. De meest toegepaste scheidingstechnieken zijn echter gebaseerd op verschillen in de waarden van enkele fysische materiaaleigenschappen en deeltjeseigenschappen zoals vorm, dichtheid, magnetische, elektrische en optische eigenschappen.
Met behulp van deze scheidingstechnieken worden in het algemeen materialen niet voor 100% van elkaar gescheiden. Veelal past men deze technieken toe om materialen te concentreren. De uiteindelijke te bereiken zuiverheid van de afgescheiden materialen wordt enerzijds bepaald door de materiaaleigenschappen en uitvoering van de scheidingsapparatuur. Anderzijds is vooral de voorbewerking (ontsluiten en verkleinen) van de te scheiden materialen bepalend voor de prestaties van de scheidingsapparatuur.
De prijs/kwaliteit verhouding die de potentiële afzetmarkt voor afgescheiden materialen stelt, bepaalt voor een belangrijk deel de toepasbare combinaties van voorbewerkings- en scheidingstechnieken.

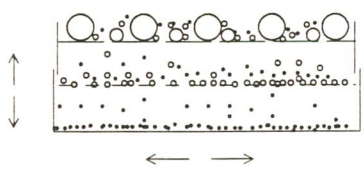
Hierna worden 4 groepen van voorbewerkings- en scheidingstechnieken beschreven:
1. droogmechanische technieken (zie § 4.2)
2. natmechanische technieken (zie § 4.3)
3. electromagnetische technieken (zie § 4.4)
4. sensorgestuurde scheidingstechnieken (zie § 4.5).

Het betreft technieken die toegepast worden in het opwerkingstraject om direct afzetbare concentraten voor de basismetaalindustrie af te scheiden. In deze industrie worden met name pyro- en/of hydrometallurgie processen toegepast.

4.2 Droog mechanische technieken

4.2.1 Zeven

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes naar grootte en/of vorm.
Materialenmengsels worden hiertoe op een zeefoppervlak gedoseerd. Dit zeefoppervlak is voorzien van openingen. Deze openingen kunnen qua vorm en afmetingen variëren. Voor het passeren van deeltjes door de zeefopeningen moeten de deeltjes ten opzichte van het zeefoppervlak bewegen. Dit wordt gerealiseerd door het bewegen van het zeefoppervlak (trilzeef, schudzeef) of het onder een hoek opstellen van het zeefoppervlak (trommelzeef) waardoor de materialen onder invloed van de zwaartekracht over het zeefoppervlak bewegen.



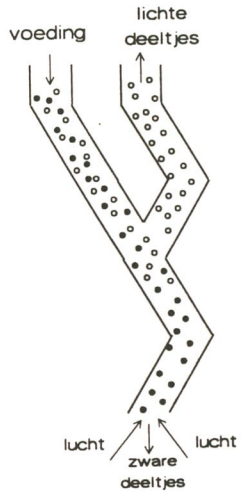
Figuur 1 Schematische weergave van zeven

Zeven is bij uitstek een methode om selectief deeltjes van een bepaalde grootte of vorm af te scheiden. De zuiverheid van de afgescheiden materialen wordt vooral bepaald door het verschil in deeltjesgrootte en/of vorm tussen de te scheiden materialen. Goed gedefinieerde verschillen in deeltjesgrootte en/of vorm tussen te scheiden materialen kunnen mogelijk via selectieve verkleining worden gerealiseerd. Meestal blijkt dit in de praktijk maar zeer zelden uitvoerbaar.
Het scheiden van materialenmengsels via zeven in verschillende deeltjesgrootten wordt echter zeer vaak toegepast als voorbewerking voor scheidingstechnieken die gebaseerd zijn op verschillen in dichtheid en electro/magnetische eigenschappen van de te scheiden materialen. Uniforme voeding en deeltjesgrootte hebben bij deze technieken een belangrijke invloed op het scheidend vermogen.

4.2.2 Windziften

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid, vorm en grootte.
Windziften is een techniek waarbij deeltjes worden gescheiden op hun valgedrag in een luchtstroom. 'Lichte' deeltjes met een relatief groot oppervlak worden eerder met de luchtstroming meegenomen dan 'zware' deeltjes met een relatief klein oppervlak. Bij alle uitvoeringsvormen van windzifters worden de te scheiden materialenmengsels in een regelbare luchtstroom gebracht. Deze luchtstroom is dwars of tegengericht aan de materiaalstroom; ook combinaties van dwars- en tegenstroom komen voor. Afhankelijk van de materiaaleigenschappen worden materialen wel of niet door de luchtstroom meegevoerd. De met de luchtstroom meegevoerde lichte fractie moet vervolgens nog wel van de lucht worden gescheiden. Hiervoor worden meestal cyclo-

nen of filterinstallaties toegepast. Op deze manier ontstaan verschillende materiaalfracties.
Er zijn vele uitvoeringsvormen van windzifters. Apparaten met rechthoekige, ronde en zigzagvormige kanalen komen voor. Daarnaast kunnen kanalen roterend worden uitgevoerd. Een veel toegepaste windzifter is de zigzagzifter. Voordeel van deze zifter is dat materialen meerdere malen in één apparaat aan het ziftproces worden onderworpen.



Figuur 2 Schematische weergave van zigzag zifter

Belangrijke invloed op het scheidend vermogen en rendement van windzifters hebben:
- deeltjesgrootte,
- deeltjesgrootteverdeling,
- dichtheidsverschil van de te scheiden materialen,
- verhouding vaste stof/lucht en luchtsnelheid.

Optimalisatie van windzifters wordt vaak proefondervindelijk uitgevoerd.
Windzifters worden onder andere toegepast voor het scheiden van fracties uit huishoudelijk afval, shredderafval, kunststof/metaalafval en bouw- en sloopafval.
Vaak worden windzifters toegepast als eerste grove scheidingsstap. Verdere concentratie van materialen wordt vervolgens met bijvoorbeeld tafel- en/of magneto/elektrische technieken uitgevoerd.

4.2.3 Tafeltechnieken

Het principe hiervan berust voornamelijk op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. Afhankelijk van de tafeluitvoering spelen ook vorm en grootte hierbij een rol.

De tafeltechnieken kunnen worden ingedeeld in de volgende hoofdklassen:

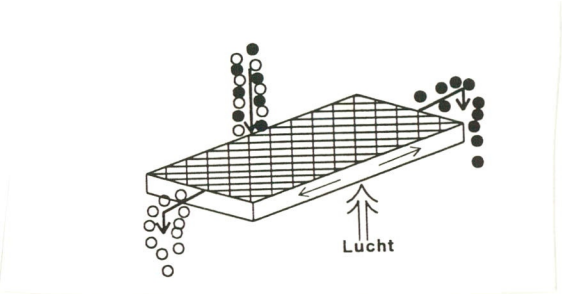
a. *Scheiden in een pulserende opwaartse luchtstroom (droge jig).*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in bewegingssnelheid tussen lichte en zware deeltjes als gevolg van de zwaartekracht.
Door middel van een pulserende luchtstroom worden de te scheiden materialen periodiek opgeschud. De zwaarste deeltjes gaan hierbij het snelst weer naar beneden. Eventueel kan een extra medium (glazen kogels en dergelijke) worden toegepast. Hierdoor worden de door de deeltjes af te leggen afstanden en het relatieve snelheidsverschil tussen de materialen vergroot.

b. *Scheiden op een uniform bewegend ruw oppervlak.*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in dichtheid en oppervlakte ruwheid tussen deeltjes. Op een langzaamlopende schuin opgestelde band worden deeltjes gedoseerd. Afhankelijk van de dichtheid en wrijving zullen deeltjes wel of niet door de band, tegen de zwaartekracht in worden meegenomen.

c. *Scheiden op een vibrerend ruw oppervlak.*
Principe hiervan is gelijk aan b. Hier echter worden deeltjes op een schuin opgesteld, in één richting vibrerend, oppervlak gebracht. Afhankelijk van de dichtheid en wrijving zullen deeltjes wel of niet in de vibratierichting worden verplaatst. Vaak worden meerdere units na elkaar geplaatst.

d. *Scheiden op een luchtdoorlatend schuin opgesteld oppervlak.*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in dichtheid tussen deeltjes. Vorm en grootte van de deeltjes hebben wel een grote invloed op de prestaties van deze techniek.
Wordt een mengsel van materialen op een doorlatende oppervlak gebracht waardoor lucht wordt geblazen, dan zullen deeltjes afhankelijk van hun dichtheid zweven of niet van het tafeloppervlak los komen. De deeltjes die op het tafeloppervlak blijven, zullen zich als gevolg van de zwaartekracht in een richting bewegen, die wordt bepaald door de helling waaronder het oppervlak is opgesteld. Ook de zwevende deeltjes, die zich min of meer als een vloeistof gedragen, zullen zich in dezelfde richting verplaatsen. Door het aanbrengen van een separatiebalk zijn de op het tafeloppervlak blijvende en zwevende materiaalfracties van elkaar te scheiden.

e. *Scheiden op een luchtdoorlatend, schuin opgesteld en vibrerend oppervlak.*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in dichtheid tussen deeltjes. Vorm en grootte van de deeltjes hebben wel een grote invloed op de prestaties van deze techniek.
Wordt een mengsel van materialen op een doorlatende oppervlak gebracht, waardoor lucht wordt geblazen, dan zullen deeltjes afhankelijk van hun dichtheid zweven of niet van het tafeloppervlak los komen. De deeltjes die op het oppervlak blijven, zullen als gevolg van de trilbeweging, die tegengesteld gericht is aan de op de deeltjes werkende zwaartekracht, zich bij een juiste instelling van de apparatuur bewegen in de richting van de trilbeweging. De deeltjes die zweven zullen zich echter bewegen in de richting van de zwaartekracht. Zware en lichte deeltjes verplaatsen zich dus in tegengestelde richtingen waardoor scheiding wordt gerealiseerd.
Men heeft verschillende uitvoeringen van dit apparaat. Er zijn tafels die alleen in de lengterichting schuin kunnen worden versteld, maar ook uitvoeringen waarbij de tafel zowel in de lengte- als in de dwarsrichting kan worden versteld.
Bij tafels die alleen in de lengterichting kunnen worden versteld, bewegen lichte en zware deeltjes zich in tegengestelde lengterichting. Hierbij ontstaan dus twee materialenfracties die aan de twee uiteinden van de tafel worden afgetapt.

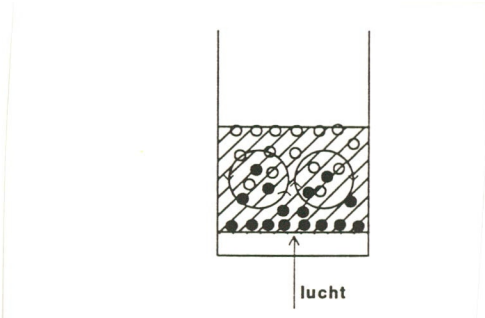


Figuur 3 Schematische weergave van tafeltechnieken

Bij tafels met zowel in de lengte-, als in de dwarsrichting verstelmogelijkheden bewegen de materialen zich gedeeltelijk tegengesteld (lengterichting) en gedeeltelijk parallel (dwarsrichting). Materialen worden in de dwarsrichting afgetapt. Door deze uitvoering ontstaat een overgangsgebied tussen lichte en zware materialen, de zogenaamde tussenfractie. Deze tussenfractie kan mogelijk worden teruggevoerd naar de voeding, die het scheidingsproces ondergaat.

4.2.4 Fluïdbedscheiding

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. De deeltjesgrootte speelt hierbij ook een belangrijke rol.
Indien men, via een poreuze bodem, ingeblazen lucht gelijkmatig verdeelt over een kolom (bed) van fijn poedervormig materiaal zoals bijvoorbeeld zand, ijzerpoeder, magnetiet en dergelijke zal bij een bepaalde luchtsnelheid het poedervormige materiaal fluïdiseren, waardoor het zich min of meer als een 'vloeistof' gedraagt. Deze 'vloeistof' heeft dan een schijnbare dichtheid die, afhankelijk van de luchtsnelheid en het gekozen fluïdisatiemedium, kan variëren.
Brengt men nu in deze 'vloeistof' een mengsel van materialen dat niet deelneemt aan de fluïdisatie (wordt bepaald door de combinatie van deeltjesgrootte en dichtheid) dan zullen deze materialen net zoals in normale vloeistoffen, afhankelijk van hun dichtheden, drijven of zinken. Op deze manier zijn materialen van elkaar te scheiden.



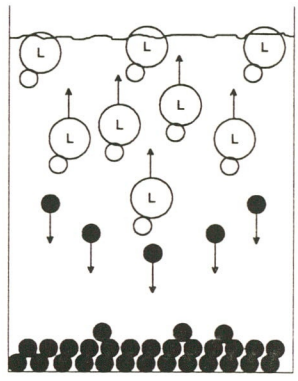
Figuur 4 Schematische weergave van fluidbedscheiding

Fluïdbedscheiding functioneert soms ook zonder gebruik van poedervormige fluïde media. In dat geval moet een van de te scheiden materialen als fluïde medium dienst doen. Meestal zal dit resulteren in een minder goede scheiding van de materialen.
Fluïdbedscheiding wordt momenteel nog slechts beperkt toegepast en is nog in ontwikkeling.

4.3 Nat mechanische technieken

4.3.1 Flotatie

Het flotatieproces is gebaseerd op de affiniteit van het deeltjesoppervlak voor adsorptie aan een gasbel. Vaste deeltjes worden gesuspendeerd in water, waarna gasbelletjes door de suspensie worden geleid die zich vervolgens hechten aan de vaste deeltjes. Hierdoor vermindert de soortelijke massa van het vaste deeltje en stijgt dit naar het vloeistofoppervlak.

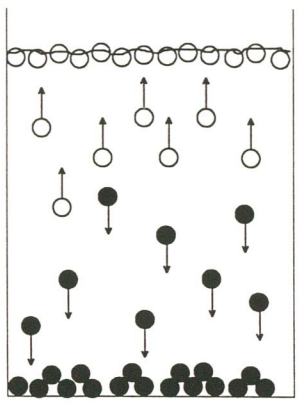


Figuur 5 Schematische weergave van flotatie

Indien de oppervlakken van de te scheiden materialen minder geschikt zijn voor adsorptie aan gasbellen, wordt soms gebruik gemaakt van oppervlaktespanningsverlagende chemicaliën waardoor gasbellen zich wel aan de deeltjes hechten. Flotatie wordt onder andere toegepast voor het scheiden van kunststoffen, het scheiden van mineralen en het ontinkten van papier.

4.3.2 Drijf/zinktechnieken

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. De te scheiden deeltjes worden in een vloeistof (medium) gebracht, waarvan de dichtheid wordt gekozen tussen de dichtheden van de te scheiden materialen. Materialen met een kleinere dichtheid dan het medium zullen gaan drijven, terwijl de materialen met een hogere dichtheid dan het medium zullen zinken.

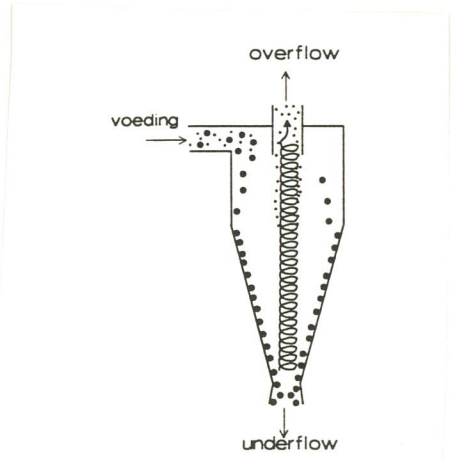


Figuur 6 Schematische weergave van drijf/zinktechnieken

Als medium wordt vaak een waterige suspensie van ferro-silicium of magnetiet toegepast. De maximale te bereiken dichtheid met deze media is circa 3500 kg/m^3. Indien als medium een magnetische vloeistof wordt toegepast, kunnen schijnbare dichtheden, oplopend tot circa 20000 kg/m^3, worden gecreëerd. Hierdoor zijn ook de zwaardere non-ferro metalen onderling te scheiden.

4.3.3 Hydrocyclonage

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

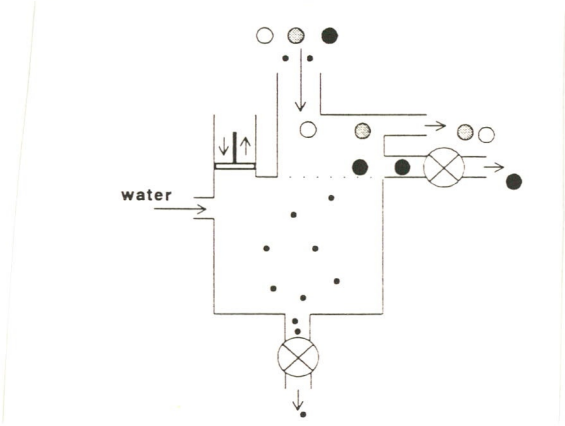


Figuur 7 Schematische weergave van hydrocyclonage

Bij deze techniek moet rekening worden gehouden met het feit dat kleine deeltjes met een hoge dichtheid hetzelfde gedrag kunnen vertonen als grote deeltjes met een lagere dichtheid. De vloeistoffen, die voor hydrocyclonage worden gebruikt, kunnen naast water ook zwaardere en lichtere vloeistoffen zijn.

4.3.4 Jiggen

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. In een conventionele jig worden de te scheiden deeltjes in een opwaartsgerichte pulserende vloeistofstroom gebracht. Hierdoor verplaatsen de deeltjes zich in de richting van deze vloeistofstroom. Gedurende het wegvallen van de vloeistofstroom verplaatsen de deeltjes zich als gevolg van de zwaartekracht in de tegenovergestelde richting. De zwaardere deeltjes vallen hierbij het snelst naar beneden, waardoor een scheiding tussen lichte en zware deeltjes optreedt.

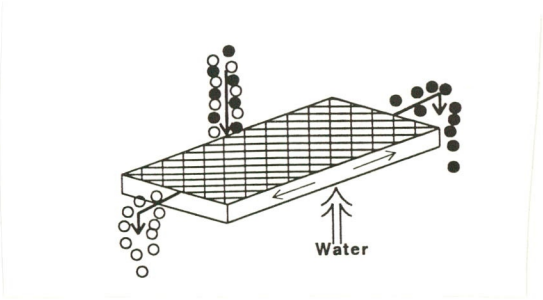


Figuur 8 Schematische weergave van jiggen

Jiggen wordt veelal toegepast voor het scheiden van kunststof/metalen mengsels en mineralen.

4.3.5 Tafeltechnieken

Daarnaast bestaat er ook een zogenaamde 'natte' tafel. Hierbij worden de te scheiden materialen vermengd met water op een beweegbare, schuin opgestelde, tafel met een ondoorlaatbare geprofileerde bodem gebracht. Het medium water vervult hier dezelfde rol als lucht bij de 'droge' tafels. Door de opwaartse kracht van het water zullen de deeltjes afhankelijk van hun dichtheid meer of minder op de tafelbodem rusten. Als gevolg hiervan bewegen ze respectievelijk in de richting van de tafel trilbeweging of in de richting van de op de deeltjes werkende zwaartekracht vanwege de schuinverstelling van de tafel.

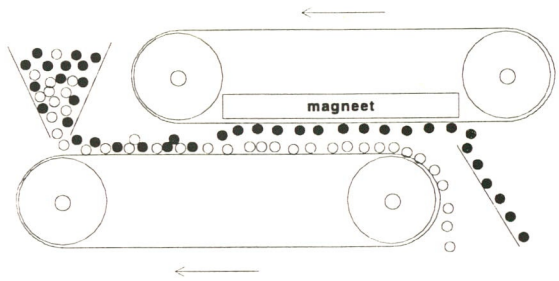


Figuur 9 Schematische weergave van tafeltechnieken

4.4 Electromagnetische technieken

4.4.1 Ferromagnetische technieken

Het principe hiervan berust op het gegeven dat ferromagnetische of zeer sterk paramagnetische materialen worden aangetrokken door een magneet en zodoende kunnen worden gescheiden van materialen die niet worden aangetrokken.



Figuur 10 Schematische weergave van ferromagnetische technieken

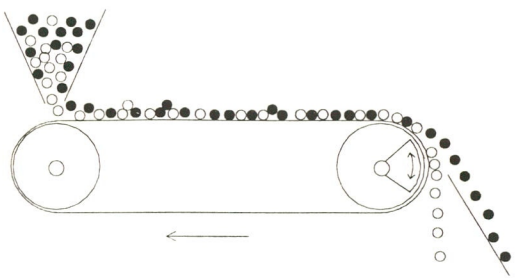
Vele uitvoeringsvormen komen voor, waarvan de meest toegepaste de bovenband en koprol magneet zijn. Als magneet worden zowel electro- als permanente magneten toegepast. Deze techniek wordt op brede schaal toegepast om magnetische materialen uit afvalstromen te verwijderen. Dit verwijderen van magnetische materialen is meestal noodzakelijk alvorens meer specifieke non-ferro scheidingstechnieken worden toegepast.

4.4.2 Sterke veld magneettechnieken

Deze techniek geeft scheiding van deeltjes op grond van verschillen in zwak magnetische eigenschappen tussen metalen en metalen/kunstoffen.
Het apparaat bestaat uit een zeer sterke, meestal permanente magneetrol waarover de te scheiden materialen via een transportband worden geleid. De zwak magnetisch materialen zullen als gevolg van aantrekking of afstoting een andere valbaan krijgen vergeleken met niet magnetische materialen, waardoor een scheiding tussen materialen optreedt. Deze techniek wordt toegepast voor het scheiden van non-ferro's onderling of non-ferro/kunststof mengsels en gelegeerde staalsoorten.

4.4.3 Wervelstroom (Eddy Current) technieken

Het principe hiervan berust op het gegeven dat indien men een geleidend metaaldeeltje in een wisselend magneetveld brengt er een wervelstroom (Eddy Current) in het deeltje gaat lopen. Deze wervelstroom verwekt op zijn beurt een magneetveld dat tegengesteld gericht is aan het aangelegde veld. Hierdoor wordt het deeltje afgestoten.

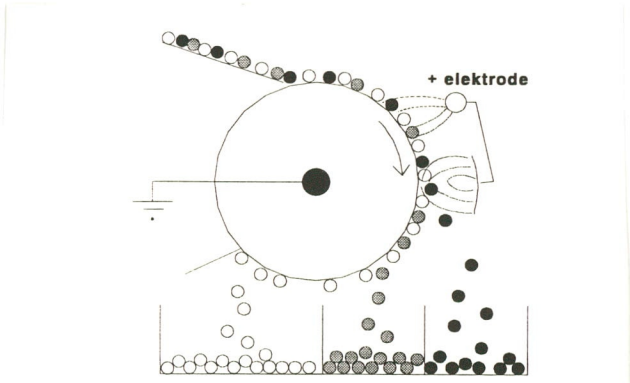


Figuur 11 Schematische weergaven van wervelstroomtechnieken

Daarbij is de afstotende kracht groter naarmate de opgewekte wervelstroom in het deeltje groter is. De opgewekte wervelstroom in een deeltje wordt bepaald door de geleidbaarheid, grootte, en vorm van het deeltje. Daarnaast speelt de dichtheid van het deeltje een belangrijke rol. De verhouding geleidbaarheid/dichtheid is met name bepalend voor de afstand waarover het deeltje wordt afgestoten.
Bij de huidige wervelstroomscheiders worden zeer sterke permanente magneten (onder andere neodymium, ijzer, borium) toegepast. Deze magneten maken deel uit van een roterende trommel. Afhankelijk van de uitvoering van de wervelstroom scheider kunnen deeltjes tussen 1 tot circa 100 mm worden gescheiden. Ferromagnetische materialen moeten vooraf worden verwijderd omdat hechten hiervan aan de magneetrol de apparatuur ernstig kan beschadigen.

4.4.4 Electrostatische technieken

Het principe hiervan berust op het gegeven dat, indien men een geladen deeltje in een elektrisch veld brengt, de deeltjes op basis van hun lading worden aangetrokken of afgestoten. In een elektrisch veld zullen gelijk geladen deeltjes elkaar afstoten en ongelijk geladen deeltjes elkaar aantrekken.



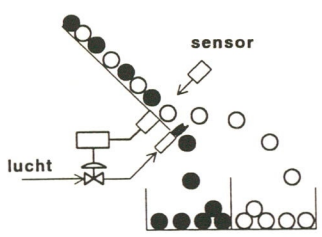
Figuur 12 Schematische weergave van elektrostatische technieken

Voor het opladen van deeltjes kunnen verschillende technieken worden toegepast. Door wrijving krijgen deeltjes van verschillende materialen tegengestelde ladingen. Ook kunnen deeltjes worden opgeladen door ze met ionen te bestoken.

Electrostatische scheiding van een mengsel is mogelijk wanneer deze electrostatische krachten groot genoeg zijn om de zwaarte- of traagheidskrachten te overwinnen. De deeltjes mogen niet te klein (< 75 micron) zijn omdat anders de scheiding verstoord wordt door luchtwervelingen. Verwerking van grote deeltjes (> 2 mm) heeft tot gevolg dat de hoeveelheid lading op het oppervlak te klein is in vergelijking met de zwaartekracht. Verder is het belangrijk dat het materiaal niet te nat is of voorzien is van een al dan niet geleidende oppervlaktelaag.
Deze technieken kunnen zeer algemeen worden toegepast, omdat ze in principe geschikt zijn om mengsels van wel en niet of slecht geleidende materialen te scheiden. Deze techniek wordt toegepast in de ertsverwerkende industrie, papier/kunststof scheiding, koper/kunststof scheiding en voedselverwerkende industrie.

4.5 Sensorgestuurde scheidingstechnieken

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes vanwege verschillen in thermische, magnetische, optische en elektrische eigenschappen. Deze techniek bestaat altijd uit twee stappen respectievelijk herkenning en afscheiding.
Een sensorgestuurd scheidingssysteem bestaat in principe uit:
- één of meer sensoren waarmee de deeltjes worden herkend,
- een signaalverwerker, bijvoorbeeld een microcomputer,
- een actuator waarmee de deeltjes worden afgescheiden.



Figuur 13 Schematische weergave van sensorgestuurde scheidingstechnieken

Voor de herkenning worden sensoren toegepast waarmee verschillen in materiaaleigenschappen worden gemeten. Deze sensoren meten bijvoorbeeld verschillen in:
- warmtegeleiding,
- kleur,
- lichtdoorlaatbaarheid,
- geleidingsvermogen,
- capaciteit,
- inductie,
- infrarood absorptie,
- röntgen fluorescentie,
- laser atoom emissies.

Voor de afscheiding wordt door de actuator elektrische informatie omgezet naar meestal mechanische energie. Actuatoren worden uitgevoerd, variërend van luchtventielen tot valluik en robotarm.

De selectiviteit (kwaliteit) en de prestaties (kwantiteit) van de sensorgestuurde scheiding wordt bepaald door de afzonderlijke componenten en de onderlinge afstemming.

Selectiviteit/kwaliteit:
De selectiviteit van de sensorgestuurde scheiding wordt vooral beïnvloed door onregelmatigheden in monstergrootte, monstersamenstellingen en monsteraanvoersnelheden en plaatsbepaling van het monster. Indien het sensorgedeelte de beperkende factor is kunnen multi-sensorsystemen worden toegepast.

Prestaties/kwantiteit:
Voor de herkenning moeten de te scheiden deeltjes één voor één langs de sensor worden geleid. Het door de sensor opgenomen signaal wordt verwerkt en vergeleken met

een referentiewaarde. De signaalverwerking kan snelheidsbepalend zijn. De werkelijke scheiding wordt uitgevoerd door de actuator. De snelheid is afhankelijk van de gekozen techniek. Met pneumatiek zijn reactietijden van 10 tot 100 milliseconden mogelijk. Bij schuivers, robotarmen en dergelijke zijn de reactietijden groter.

Sensorgestuurde scheiding wordt op dit moment nog maar op beperkte schaal toegepast. De redenen hiervoor zijn onder andere de ongunstige prijs/prestatieverhouding en het gegeven dat meestal nog ontwikkelingswerk moet worden uitgevoerd.
Op beperkte schaal worden sensorgestuurde scheidingssystemen toepast voor terugwinnen van non-ferro's uit autoshredderfracties en voor het verwijderen van metaalverontreinigingen in kunststoffen. Ook op gebied van kunststof/kunststofscheiding wordt sensorgestuurde scheidingsapparatuur op de markt geïntroduceerd.

5 Toepassingsgebied en leveranciers

5.1 Toepassingsgebied

Voor het maken van de juiste keuze van de toe te passen scheidingstechniek moet bekend zijn op basis van welke fysische eigenschappen wordt gescheiden en welke eisen de apparatuur stelt aan de granulaat deeltjesgrootte. De hierna volgende tabel 4 geeft hiervan een overzicht. In deze tabel is daarnaast aangegeven in hoeverre de techniek materiaalspecifiek is voor het afscheiden/scheiden van non-ferro's. Materiaalspecifiek wil zeggen, dat voor de scheiding gebruik wordt gemaakt van fysische eigenschappen, die alleen de non-ferrometalen bezitten. Hierbij valt op dat slechts enkele technieken specifiek zijn voor non-ferro's en dat voor de afscheiding/scheiding van non-ferro's ook veel technieken die berusten op verschillen in dichtheid kunnen worden toegepast.
Daarnaast bevat de tabel getallen over de capaciteiten, de energieverbruiken, de investeringen en de kosten van de diverse technieken. Daarbij moet worden aangetekend dat het hierbij om globale cijfers gaat. Veel van deze grootheden zijn namelijk sterk produkt- en leverancierafhankelijk. Bovendien worden door de meeste leveranciers van apparatuur geen algemeen geldende gegevens verstrekt over deze grootheden.

Voor het berekenen van de kosten/ton is uitgegaan van de volgende gegevens:
Afschrijving + rente + onderhoud = 30% van de investeringen/jaar.
Energieprijs = 0,25 *f*/kWh.
Produktie-uren 2000/jaar.

In deze kostenberekeningen zijn dus geen personeelskosten opgenomen!!!
Verder zijn de uitkomsten van deze berekeningen afgerond. Onder de *f* 5,- (op hele guldens) en boven de *f* 5,- (op vijf hele guldens).

De prestatie van scheidingstechnieken wordt meestal weergegeven in de vorm van percentage concentratie en percentage rendement. Daarbij worden de volgende definities gehanteerd:
De 'concentratie' is de gewichtshoeveelheid van één bepaald materiaal in een fractie gedeeld door de gewichtshoeveelheid van de fractie x 100%.
Het 'rendement' is de gewichtshoeveelheid van één bepaald materiaal in een afgescheiden fractie gedeeld door de gewichtshoeveelheid van dat materiaal in de voeding x 100%.
Bij toepassing van de beschreven scheidingstechnieken kunnen onder ideale omstandigheden concentraties en rendementen van meer dan 95% worden behaald. Hierbij is echter de voorbehandeling van de te scheiden materialen bepalend voor de prestaties van de scheidingstechniek. Voor de meeste scheidingstechnieken hebben, naast de in de tabel 4 aangegeven grenzen voor de granulaatgrootte, uniforme deeltjesgrootte en vorm een belangrijke positieve invloed op de prestatie van de scheidingstechniek. Daarnaast kunnen op het oppervlak aanwezige verontreinigingen en insluitingen van vreemde materialen de prestatie van de scheidingstechniek belangrijk negatief beïnvloeden.
Voor de voorbehandeling moeten combinaties van ontmantelen en verkleinen worden toegepast (zie § 3.1), die zijn toegespitst op de erop volgende scheidingstechnieken en de eisen die de potentiële afzetmarkt aan afgescheiden materialen stelt.

Tabel 4 Overzicht technieken

Techniek	Materialen afvalsoort	Scheiding op basis van verschillen in	Specifiek voor non-ferro's	Granulaat grootte mm	Capaciteit t/h	Energie kWh/t	Investering k*f*	Kosten *f*/t
Zeven	huishoud-bouw/sloop-shredderafval	grootte/vorm	nee	+0,5 mm	1-100	1-3	10-300	1-2
Windziften	huishoud metaal/kunststof shredder	dichtheid grootte/vorm	nee/ja	0,1-10 mm	1-50	5-10	100-200	2-20
Tafel-technieken	shredder metaal/kunststof	dichtheid grootte/vorm	nee/ja	1-10 mm droog 0,1-5 mm nat	0,5-2	10-20	50-100	10-20
Fluidbed-scheiding	metaal/kunststof	dichtheid	nee	0,3-10 mm	0,5-2	10-20	50-100	10-20
Flotatie	mineraal kunststof	dichtheid	nee	0,1-50 mm	1-100	2-5	100-1000	15-20
Drijf/zink-scheiding	non-ferro's kunststof	dichtheid	nee/ja	3-100 mm	1-100	2-5	20-400	10-15*)
Hydro cyclonage	kunststof klei/zand	dichtheid	nee	0,01-10 mm	1-25	2-5	25-200	2-5
Jiggen	mineraal	dichtheid	nee	1-50 mm	1-100	2-5	100-1000	15-20
Ferro Magnetische scheiding	ferro's	magnetische eigenschappen	nee	+0,2 mm	1-20	1-2	10-50	1-2
Sterke veld magneet-scheiding	non-ferro/kunst-stof	zwak magnetisch eigenschappen	ja	+0,2 mm	0,5-2	1-2	10-50	3-5
Wervelstroom-scheiding	non-ferro	geleidbaarheid dichtheid	ja	2-100 mm	0,5-10	2-3	100-300	5-30
Electro statische-scheiding	metaal/kunststof	geleidbaarheid	ja	0,1-5 mm	0,5-2	1-2	150-300	25 -50
Sensor gestuurde scheiding	non-ferro kunststof glas	optisch-electrisch-inductie-eigenschappen	ja	5-100 mm	0,5-2	3-10	100-1000	30-80

*) kosten/ton inclusief verbruik van suspensiemateriaal

5.2 Leveranciers

Gezien het doel van dit project zijn alleen leveranciers geconsulteerd die min of meer materiaalspecifieke non-ferro scheidingsapparatuur op de markt brengen.
Een alfabetisch overzicht van enkele leveranciers en de door hun geleverde technieken wordt hierna gepresenteerd. Voor de technieken zijn daarbij de volgende afkortingen gebruikt:

Windziften	=	WZ
Tafeltechnieken	=	TT
Drijf/zinkscheiding	=	DZ
Sterke veld magneetscheiding	=	SVM
Wervelstroom technieken (Eddy Current)	=	EC
Electrostatische technieken	=	ES
Sensorgestuurde scheidingstechnieken	=	SS met toevoeging.

- ALPINE, Duitsland: WZ en TT[1)]
- ANDRIN, Frankrijk: EC[1)]
- AUMUND Fördertechnik GmbH, Duitsland: SS met röntgen fluorescent[1)]
- BAKKER MADAVA, Nederland: EC[1)]
- BOA, Nederland: WZ
- CARPCO, USA: TT, SVM, EC, ES en SS met inductie[1)]
- ELDAN, Denemarken: WZ en TT[1)]
- ERIEZ Magnetics Europe ltd., Engeland: SVM, EC en ES[1)]
- GOUDSMIT, Nederland: SVM, EC[1)]
- HAMOS, Duitsland: ES en SS met inductie[1)]
- HAPPLE, Duitsland: TT
- KIESOW, DZ
- LINDEMANN Maschinenfabrik GmbH, Duitsland: EC[1)]
- NEWELL Engineering ltd., Engeland: EC[1)]
- NIHOT, Nederland: WZ
- SCANDINAVIAN RECYCLING, Zweden: WZ en TT[1)]
- SEA, Italië: SS met kleur
- SGM, Italië: EC[1)]
- STEINERT Elektromagnetbau GmbH, Duitsland: EC[1)]
- S+S Electronic GmbH, Duitsland: SS met inductie en laser[1)]
- WAGNER KG, Duitsland: EC en SS met inductie[1)]
- WEMCO, DZ

1) In bijlage 1 zijn van deze firma, op alfabetische volgorde, enkele relevante brochures opgenomen.

6 Voordelen, nadelen en ontwikkelingen van non-ferro scheidingstechnieken

6.1 Specifieke non-ferro scheidingstechnieken

Zoals reeds in § 5.1 is aangegeven zijn momenteel slechts een beperkt aantal scheidingstechnieken specifiek voor non-ferro's beschikbaar.
Deze technieken zijn:
- sterke veld magneetscheiding,
- wervelstroomtechnieken,
- electrostatische technieken,
- sensorgestuurde scheidingstechnieken.

De voor- en nadelen en de mogelijke ontwikkelingen binnen deze technieken zullen hierna worden toegelicht.

6.1.1 Sterke veld magneetscheiding

Dit is een techniek die momenteel nog maar beperkt wordt toegepast. Wel staat deze techniek sterk in de belangstelling. Dit met name door de ontwikkelingen op het gebied van nieuwe zeer sterke permanente magneten.
Leveranciers van deze apparatuur geven aan dat systemen zijn verkocht voor het verwijderen van aluminium uit kunststoffen (PET-fles recycling). Daarnaast wordt ook geclaimd dat hiermee diverse kwaliteiten RVS te scheiden zijn.

Voordelen:
- scheiden van zwak magnetische materialen is mogelijk,
- techniek is relatief goedkoop ten opzichte van andere specifieke non-ferro scheidingstechnieken,
- constructie is simpel.

Nadelen:
- materialen moeten vrij zijn van ferro-metalen,
- techniek is nog in ontwikkeling,
- techniek werkt waarschijnlijk alleen goed met deeltjes van < 10 mm.

Ontwikkelingen:
Door ontwikkeling van nog sterkere permanente magneten kunnen steeds meer zwakmagnetische materialen worden gescheiden. Met name voor het scheiden van diverse kwaliteiten RVS is vanuit de recycling branche grote interesse. Hier ligt een interessante toepassingsontwikkeling.

6.1.2 Wervelstroomtechnieken

Van alle specifieke non-ferro scheidingstechnieken wordt alleen wervelstroomscheiding op redelijk grote schaal toegepast. Wervelstroom scheidingsapparatuur wordt meestal toegepast in installaties voor het verwerken van autowrakken, huisvuilscheidingsinstallaties, verbrandingsinstallaties en in installaties voor de recycling van wit- en bruingoed.

Voordelen:
- techniek is toepasbaar voor deeltjes tot 100 mm. Hierdoor zijn voorbehandelingskosten (malen, zeven) betrekkelijk gering,
- techniek is redelijk uit ontwikkeld.

Nadelen:
- non ferro-metalen onderling zijn hiermee maar beperkt te scheiden,
- materialen moeten vrij zijn van ferro-metalen,
- minimale toepasbare deeltjesgrootte is circa 2 mm.

Ontwikkelingen:
Voor zover bekend lopen bij de producenten van deze apparatuur op het gebied van ontwikkelingen nauwelijks acties.

TNO ziet als mogelijke ontwikkelingen:
- optimaliseren van de Eddy Current rotor qua constructie en veldsterkte,
- optimaliseren van de voedingsmethode naar de Eddy Current rotor.

6.1.3 Electrostatische technieken

Deze techniek is op dit moment sterk in de belangstelling bij verwerkers van electronica-afvallen. De redenen hiervoor zijn vooral gelegen in het feit dat bij recycling van electronica-afvallenscheiding, van de hierin aanwezige metalen/kunststof combinaties, alleen mogelijk is indien de afvallen zeer fijn (deeltjesgrootte < 1 mm) worden gemalen. Beneden een deeltjesgrootte van 1 mm zijn andere scheidingstechnieken zoals tafeltechnieken en wervelstroomscheiding niet toepasbaar terwijl echter de electrostaat de beste prestaties levert met deeltjes van < 1 mm.

Voordelen:
- scheiding van deeltjes < 1 mm is mogelijk,
- energieverbruik is gering.

Nadelen:
- kostprijs/ton is vrij hoog,
- techniek is toepasbaar voor deeltjes met een grootte van maximaal 5 mm. Hierdoor is kostprijs voor het verkleinen van de materialen relatief hoog,
- vervuilingen en coatings op het deeltjesoppervlak werken storend,
- materiaal moet droog zijn,
- vonkoverslag kan brand of explosies veroorzaken.

Ontwikkelingen:
Naar verwachting zijn er weinig mogelijkheden voor verdere ontwikkelingen. Toepassingen blijven beperkt tot bijvoorbeeld het terugwinnen van non-ferro metalen uit fijn gemalen electronica afvallen of voor de verwijdering van metaalverontreinigingen uit kunststoffen.

6.1.4 Sensorgestuurde scheidingstechnieken

Sensorgestuurde scheidingstechnieken zijn alleen interessant als ze duidelijke voordelen bieden ten opzichte van technieken die zich al hebben bewezen. De traditionele mechanische scheidingstechnieken hebben het grote voordeel dat er geen aparte herkenningsstap hoeft te worden uitgevoerd. Indien sensorgestuurde scheiding in een bepaalde situatie dan ook geen wezenlijk voordeel biedt, zijn traditionele technieken vaak (economisch) interessanter. Dit geldt in het bijzonder voor het afscheiden van ferrometalen en het scheiden van materialen met een groot verschil in dichtheid. Het feit dat er een aparte herkenning plaatsvindt kan echter ook een voordeel zijn. Dit is het geval wanneer een betere herkenning bij kan dragen aan kwaliteitsverhoging van de scheiding. Sensoren zijn dus meestal alleen nuttig wanneer de bottle-neck zit in de herkenning van de materialen. Dit is meestal het geval bij scheiding van materialen binnen één materiaalklasse. Daarnaast kan een aparte herkenningsstap nuttig zijn bij handmatige sortering omdat automatische sensorsystemen soms kunnen concurreren met menselijke arbeid.

De deeltjesgrootte is een belangrijke parameter bij afvalscheiding. Op grond hiervan zijn hierna een aantal momenteel geldende vuistregels weergegeven:
- bij de verwerking van fracties met deeltjes groter dan 200 mm komt handsortering, beeldschermsortering of sensorgestuurde herkenning in aanmerking,
- bij de verwerking van fracties met deeltjes tussen 50 en 200 mm ligt sensorgestuurde scheiding of het gebruik van traditionele scheidingstechnieken het meest voor de hand,
- voor de verwerking van fracties met deeltjes tussen 10 en 50 mm zijn de traditionele technieken meestal in het voordeel,
- voor de verwerking van fracties met deeltjes kleiner dan 10 mm zijn de traditionele scheidingstechnieken het meest geschikt.

Voordelen:
- hiermee zijn materialenmengsels te scheiden die met andere technieken niet of nauwelijks zijn te scheiden. Met name de scheiding van non-ferro's onderling, glas/keramiekscheiding en de scheiding van kunstoffen onderling,
- grote zuiverheid is te bereiken,
- controle op kwaliteit is mogelijk,
- scheiding van meerdere materialen kan meestal in één stap plaatsvinden,
- geïntegreerde controle op potentieel milieubelastende stoffen is mogelijk.

Nadelen:
- de techniek is nieuw en nog vrijwel onbekend binnen de afvalverwerkingsindustrie. Deze industrietak is niet gewend aan de toepassing van geavanceerde technieken voor laagwaardige afvalstoffen.

- De techniek is relatief gevoelig voor storingen. De werking van de sensoren wordt verstoord door vervuilingen aanwezig op het oppervlak van de te herkennen materialen en de stabiliteit van de sensoren is vaak nog onvoldoende.
- De techniek is relatief duur. Voor rendabel gebruik zijn daarom grote afvalstromen nodig.
- De techniek is in de huidige uitvoeringsvorm slechts geschikt voor een aantal specifieke afvalstromen met redelijk grote deeltjes.

Ontwikkelingen:
Het aantal operationele sensorgestuurde scheidingsinstallaties is momenteel beperkt. Een uitzondering hierop vormt een groep apparatuur waarmee via meting van inductie gekoppeld aan luchtventielen of valluiken geringe hoeveelheden metalen uit kunststofgranulaten worden verwijderd. In dit geval gaat het niet om het terugwinnen van metalen, maar om het reinigen van de kunststofgranulaten.
Daarnaast wordt in de voedingsmiddelenbranche ook gebruik gemaakt van kleursorteerapparatuur.
Op het gebied van non-ferroscheiding zijn recent door twee firma's sensorgestuurde (röntgen en laser) scheidingsapparaten ontwikkeld die momenteel op de markt worden geïntroduceerd (§ 5.2).
Verwacht wordt dat, voor het succesvol en economisch haalbaar scheiden van bijvoorbeeld non-ferro's met sensorgestuurde technieken, optimalisaties aan apparatuur noodzakelijk zijn. Daarbij is met name de monstervoorbereiding (uniformiteit deeltjesvorm en grootte), het deeltje voor deeltje langs de sensor voeren en de beschikbaarheid van snelle actuatoren van belang. Daarnaast moet de robuustheid en de gevoeligheid van de sensor voor oppervlakte vervuilingen en dergelijke worden verbeterd. Verhogen van de snelheid van verwerking van de sensorgegevens moet gelijke tred houden met de ontwikkeling van snelle actuatoren.

6.2 Niet specifieke non-ferro scheidingstechnieken

Technieken waarbij voor de scheiding tussen materialen hoofdzakelijk gebruik wordt gemaakt van dichtheidsverschillen worden veelvuldig toegepast om mengsels van metalen/kunststoffen en metalen/metalen te scheiden.
Vooral toegepast hiervoor worden de technieken:
- windziften,
- tafeltechnieken,
- drijf/zinkscheiding.

Deze technieken worden uitgebreid toegepast bij de verwerking van autowrakken en kabelafvallen via verkleinen gevolgd door fysische scheiding. Deze technieken zullen hierna worden toegelicht.

6.2.1 Windziften

Windziften wordt in de recyclingindustrie vaak toegepast voor het afscheiden van niet bruikbare stof/vuil fracties. Van het bruikbare produkt dat na windziften resteert, worden vervolgens de materialen die moeten worden teruggewonnen met andere technieken verder geconcentreerd.

Voordelen:
- de techniek is toepasbaar voor een breed scala aan afvallen,
- vele uitvoeringsvormen aangepast aan produkten zijn verkrijgbaar,
- produceert geen tussenfracties.

Nadelen:
- het energieverbruik is relatief hoog,
- de kosten/ton zijn relatief hoog,
- de techniek is als definitieve scheidingsstap beperkt inzetbaar.

Ontwikkelingen:
Aangezien deze techniek reeds tientallen jaren wordt toegepast, zijn geen echte nieuwe ontwikkelingen te verwachten. Wel kunnen bestaande ziftertypes worden geoptimaliseerd ten aanzien van het energieverbruik. Bovendien zullen met name voor recycling van diverse afvallen de windzifters meer produktgericht worden ontworpen. Door deze ontwikkelingen kunnen windzifters bij recycling van afvallen mogelijk ook als relatief goedkope definitieve scheidingsstap worden toegepast.

6.2.2 Tafeltechnieken

Tafeltechnieken worden algemeen toegepast bij het scheiden van metaal/kunststof mengsels. Grootste toepassingsgebied is de kabelrecycling.

Voordelen:
- methode is technisch eenvoudig,
- proces is visueel inregelbaar.

Nadelen:
- het hoge energieverbruik resulteert in relatief hoge kosten/ton,
- de techniek is slechts beperkt toepasbaar en is vrijwel alleen geschikt voor de scheiding van koper/kunststof granulaten met homogene deeltjesgrootte,
- toepassing van de techniek geeft meestal ook een niet gescheiden tussenfractie,
- de methode is gevoelig voor fluctuaties in voedingsdebiet en samenstelling.

Ontwikkelingen:
Tafeltechnieken zijn in principe ook geschikt voor het scheiden van andere materialen dan koper/kunststof. Hiervoor moeten optimalisaties aan luchtverdeling, luchtsnelheid, tafelbeweging en tafeloppervlak worden uitgevoerd.

6.2.3 Drijf/zinkscheiding

Deze techniek wordt vrijwel alleen toegepast voor opwerking van de nonferrofractie vrijkomend uit autoshredder installaties. Hierbij gaat het met name om het afscheiden van aluminium van de zwaardere non-ferro fracties.

Voordeel:
- techniek is selectief en vrijwel niet gevoelig voor verschillen in deeltjesgrootte en vorm.

Nadelen:
- het suspensie materiaal moet worden verwijderd,
- het verlies aan suspensiemateriaal bedraagt circa *f* 10,-/ton behandelde voeding.

Ontwikkelingen:
Het grote voordeel van drijf/zinkscheiding is de ongevoeligheid voor deeltjesgrootte en vorm waardoor de voorbehandeling van de te scheiden materialen relatief goedkoop is. Optimalisaties van de uitvoering en de procesvoering van de apparatuur en het verbreden van het scala aan in te stellen dichtheden van de vloeistoffen zouden deze techniek een aanzienlijk breder toepassingsgebied kunnen geven.

7 Evaluatie en hoofdconclusies

7.1 Evaluatie

Huidig aanbod apparatuur

De resultaten van deze inventarisatie tonen de volgende belangrijke aspecten aan:

- De procesroute, die wordt toegepast voor het opwerken van afvalstromen die non-ferrometalen bevatten, wordt in principe gedicteerd door de prijs/kwaliteitseisen die de afzetmarkt voor afgescheiden non-ferrometalen stelt. Op basis van deze eisen worden keuzes gemaakt voor de verwerkingsroutes van non-ferrometalen bevattende afvalstromen.
- Voor het afscheiden van non-ferrometalen uit materialenmengsels zijn slechts enkele technieken materiaalspecifiek. Materiaalspecifiek wil zeggen dat voor die scheiding gebruik wordt gemaakt van die fysische eigenschappen waarbij de non-ferrometalen zich onderscheiden, bijvoorbeeld elektrische geleidbaarheid. De onderzochte, te noemen toe te passen technieken zijn.
  - sterke veldmagneetscheiding
  - wervelstroomscheiding
  - elektrostatische scheiding
  - sensor gestuurde scheiding

  De meest toegepaste materiaalspecifieke non-ferro scheidingstechniek is wervelstroomscheiding: *toepassing geschiedt ten behoeve van verwijdering van non-ferro metalen uit autoschroot, huishoudelijk afval en asresten van verbrandingsinstallaties.* Sensorgestuurde technieken zijn in dit opzicht veelbelovend maar zijn slechts beperkt ontwikkeld en worden nog niet op brede schaal in de praktijk toegepast.
  Van de niet-materiaalspecifieke technieken zijn onderzocht:
  - zeven
  - windziften
  - tafeltechnieken
  - fluidbed-scheiding
  - flotatie
  - drijf/zink-scheiding
  - hydrocyclonage
  - jiggen
  - ferromagnetische scheiding

  Wat betreft deze technieken wordt scheiding voornamelijk gerealiseerd op basis van verschillen in dichtheden tussen de te scheiden materialen: *veel toegepast worden onder andere de luchttafel voor kabelrecycling en drijf/zinkinstallaties voor het scheiden van non-ferro metalenmengsels, voornamelijk afkomstig van autoshredder installaties.*
- De leveranciers bieden speciaal toepasbare apparatuur aan. Veelal zijn deze apparaten voor specifieke toepassingen ontwikkeld (bijvoorbeeld de luchttafel ten behoeve van kabelverwerking en de Eddy Current scheider ten behoeve van shredderafvalverwerking). Voor gebruik in andere toepassingen (verwerking van andere afvalstromen) dienen de desbetreffende apparaten aangepast of opnieuw ontworpen te worden.

Ontwikkelingen in het aanbod

Met uitzondering van de sensorgestuurde scheidingstechnieken worden alle andere non-ferro metaalscheidingstechnieken reeds geruime tijd voor de verwerking van specifieke afvalstromen toegepast. Dit geeft aan dat er nauwelijks sprake is van structureel nieuwe ontwikkelingen op dit gebied. Wel is de apparatuur, gebaseerd op deze bekende principes, qua constructie (bijvoorbeeld de keuze van magneetmaterialen van de permanente magneten), aangepast aan het huidige kennisniveau. Optimalisaties van de scheidingsapparatuur zouden de toepasbaarheid en de prestaties van de scheidingstechnieken aanzienlijk kunnen verbeteren.
Voorbeelden hiervan zijn:

- De ontwikkelingen op het gebied van de constructie van (inclusief keuze magneetmaterialen) sterke permanente magneten die van grote invloed zijn geweest op het verbreden van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders. Mogelijk kunnen verdere ontwikkelingen op dit gebied nog bijdragen aan de verdere verbreding van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders.
- Wat betreft de sensorgestuurde technieken is meestal de kwaliteit van de sensor wel voldoende. Vooral de monstervoorbereiding, het deeltje voor deeltje langs de sensor voeren en de uitvoering van de actuator krijgen in demonstratieprojecten onvoldoende aandacht. Hiermee kunnen de vaak tegenvallende prestaties van sensorgestuurde scheidingstechnieken worden verklaard. De prestaties van sensor-gestuurde scheidingstechnieken hangen af van de kwaliteit van de afzonderlijke onderdelen, de sensor, de signaalversterker en de actuator. In zo'n systeem is vooral de afstemming van deze onderdelen op elkaar van belang. Dit vormt een belangrijk ontwikkelingsgebied.
- Windzifters worden vaak als eerste grove concentratiestap in recyclingprocessen toegepast. Door introductie van apparaat- en energiegerichte optimalisaties aan de uitvoering van windzifters kunnen windzifters ook als relatief goedkoop apparaat, ten behoeve van de afscheiding van zuivere fracties, worden toegepast.
- Drijf/zink scheidingstechnieken worden, ondanks hun selectiviteit en ongevoeligheid voor variaties in deeltjesgrootte en vorm, alleen toegepast voor het scheiden van de non-ferrometalen afkomstig uit autowrakken.
  Het toepassingsgebied van deze techniek kan aanzienlijk worden verbreed, indien optimalisaties aan apparatuur en vooral het medium worden gerealiseerd.

Kosten

De via scheidingstechnieken teruggewonnen non-ferrometalen hebben afhankelijk van de soort en de marktsituatie een waarde die kan oplopen tot enkele duizenden guldens per ton. In dat kader bezien zijn de kosten/ton voor de scheidingtechnieken (*exclusief personeelskosten, zie § 5.1*) relatief gering.
De kosten/ton van de materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen *f* 5-80,-/ton. Wervelstroomscheiding is van de praktisch toegepaste technieken de goedkoopste met een kostprijs van *f* 5 -30,- /ton. De kostprijs van sensorgestuurde scheidingstechnieken is vanwege het exclusieve karakter nog relatief hoog en bedraagt circa *f* 30-80,-/ton.

Van de niet-materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen de kosten/ton *f* 2-20,-. Dit is dus aanzienlijk lager dan de kosten/ton voor de materiaalspecifieke scheidingstechnieken. Vanuit kostenoverweging is het daarom aan te bevelen, om voor het afscheiden/scheiden van non-ferrometalen, in eerste instantie de niet specifieke technieken toe te passen alvorens de specifieke technieken worden ingezet. In de

praktijk echter komen ook omgekeerde techniekvolgorden voor. Met name de combinatie wervelstroomscheiding gevolgd door drijf/zinkscheiding wordt algemeen toegepast bij de verwerking van autowrakken.

7.2 Hoofdconclusie

De in de praktijk verkrijgbare scheidingsapparatuur is meestal voor een specifieke toepassing ontworpen (bijvoorbeeld de scheiding van koper en kunststof, afkomstig van kabels met een speciaal daarvoor ontworpen luchttafel). Dit houdt niet in dat deze apparatuur in generieke zin toepasbaar is (bijvoorbeeld voor de scheiding van non-ferro's en kunststoffen). Meestal dienen toegeleverde apparaten ten behoeve van de scheiding van speciaal geselecteerde mengsels aangepast te worden.
Ten behoeve van de scheiding van **specifieke** afvalstromen, dient telkens een toegespitst ontwerp van een **specifiek** scheidingsapparaat gemaakt te worden. Dit toegespitste ontwerp hangt vooral samen met de voor- en nageschakelde apparatuur in het totale verwerkingsproces.

Resumerend luidt de hoofdconclusie[1)]
De leverbare scheidingsapparatuur is niet zonder meer toepasbaar.
Ten behoeve van de verwerking van specifieke afvalstromen dienen meestal specifieke scheidingsapparaten (in totaalprocessen) toegepast te worden.
Deze apparaten dienen,
— *of aangepast, c.q. gemodificeerd te worden,*
— *of specifiek nieuw ontworpen te worden.*

1) De hoofdconclusie is mede gebaseerd op de resultaten van proefnemingen met door TNO aangeschafte scheidingsapparatuur.
Op basis daarvan heeft TNO de toegeleverde apparaten aangepast of in plaats daarvan nieuwe ontworpen. Ten behoeve van het nader bepalen van specifieke procesparameterinstellingen en/of geometrische afmetingen van de apparaten heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie modellen ontwikkeld.

8 Literatuur

Algemeen:

[1] Dr. Ing. H. Kellerwessel.
1981 to 1990 - What was new in the practice of bulk solids processing.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 5.

[2] Dr.sc.techn. G. Schubert.
Processing of scrap and refuse containing non-ferrous metals.
Part 1 and Part 2.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 2 and 7.

[3] Prof. U. Andres.
Separation of non-ferrous scrap metals.
Aufbereitungs-Technik 35 (1994) nr. 2.

[4] Hans Spoel.
The current status of scrap metal recycling.
JOM april 1990.

[5] Ir. H.J. Witteveen en Ir. W.L. Dalmijn.
Concentratie van N-F metalen uit autoschroot.
Recycling juni/juli 1989.

[6] M. Rousseau and A. Melin.
The processing of non-magnetic fraction from shredded automobile scrap:
A review.
Elsevier Science Publishers B.V. 1989.

[7] Scheiding van non-ferro metalen. Nat of droog, of op 't oog?
Recycling juni/juli 1986.

[8] V.P. Ithin.
Benefication of aluminium automobile scrap.
CIM bulletin, march 1986.

[9] Dr. Ing. J. Julius.
Rückgewinnung von Nichteisenmetallen in Shredderanlagen durch Trockensortierung.
Metall, 38 Jahrgang. Heft 8. August 1984.

[10] G. Schubert.
Entwicklungstendenzen bei der Aufbereitung der Stahl-, Gusseisen- und NE-Metallschrotte.
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982.

[11] R. Helfricht.
Stand und Entwicklungstendenzen der Dichtesortierung.
Neue Bergbautechnik. 5. Jg. Heft 7 - juli 1975.

[12] A.S.J.E. Douglas, T. Welsh, A. Whitehead.
Development of equipment for the dry concentration of minerals.
Filtration & Separation, september/october 1972.

[13] Ir. W.L. Dalmijn, Ir. J.A.F. van Houwelingen.
Recycling van metalen uit auto's en welvaartsschroot.
Recycling oktober/november 1992.

[14] Ir. A. Ansems, F. Esmeyer. TNO rapport 89-21/C1, maart 1989.
Scheiding en Recycling van Non-ferrometaal/kunststofcombinaties:
Karakterisering en recyclingprocessen.

[15] J. Joziasse et al.
Monografieën informatiesystemen Milieutechnieken:
Compartiment Afvalstoffen.
TNO rapport 91-159, april 1991.

[16] Ir. J.H. Ekkelenkamp, M. Goorhuis.
Verwerking complexe huishoudelijke apparatuur.
TNO rapport 92-138, april 1992.

[17] Ir. A. Ansems, Ir. J.H. Ekkelenkamp, C. Verschut, Dr. J. Quakernaat.
Selectie van de te ontwikkelen droge deeltjesscheidingstechnieken.
TNO rapport 92-381, februari 1993.

[18] C. Verschut et al.
Recycling non-ferro kunststofcombinaties: Karakterisering TV-toestellen,
selectieve demontage onderdelen.
TNO rapport 93-054, februari 1993.

[19] A. Fluitman.
Toepassing van sensoren bij de verwerking van droge afvalstromen.
Stageverslag TNO/ME april 1994.

Eddy-Current:

[20] H.J.L. van der Valk, B.C. Braam, W.L. Dalmijn.
Eddy-Current separation by permanent magnets.
Part 1: Theory.
Elsevier Science Publishers B.V. 1986.

[21] H.J.L. van der Valk, B.C. Braam, W.L. Dalmijn.
Eddy-Current separation by permanent magnets.
Part 2: Rotating disc separators.
Elsevier Science Publishers B.V. 1988.

[22] Ernst Schloemann.
Eddy-Current techniques for segragation non-ferrous metals from waste.
Conservation & Recycling vol. 5. no. 2/3 pp 149-162, 1982.

[23] Dipl. Ing. Klaus Feistner.
Wiedergewinnung von NE-Metallen mit Wirbelstromseparatoren.
Koln. Metall, Heft 2, 37 Jahrgang 1983, seite 185.

[24] T. Sakamoto.
Multiparameter Eddy-Current technique for material sorting of steel bars.
Elsevier Science Publishers B.V. 1989.

[25] Rückgewinnung mit neuem Elektromagnetische Trennverfahren.
Rohstoff Rundschau 21/1987, 651-653.

[26] W.L. Dalmijn.
Practical applications of Eddy-Current separators in the scrap recycling industry.
The Minerals, Metals and Materials society, 1990.

Jiggen:

[27] Dr. Ing. H. Kellerwessel.
Jigs and their particular application for Recycling. Possibilities, limits, types.
Aufbereitungs-Technik 34 (1993) nr. 10.

[28] Prof. Dr. Ing. E Fellensiek, Dr. Ing. W Erdmann.
Jigging: Historical and technical development.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 11.

[29] Dr. Ing. A. Jungmann, Dipl. Ing. Th. Neumann.
Alljigs for the separation of impurities out of gravel, sand and recycling materials.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 1.

[30] Dr. Ing. R. Imhof.
Pneumatic flotation - a modern alternative.
Aufbereitungs-Technik nr. 8 (1988).

[31] Dr. Ing. H. Breuer, Dr. Ing. A. Jungmann.
New potentials in jigging separation for fine and ultra-fine fractions.
Aufbereitungs-Technik nr. 7 (1986).

Thermisch scheiden:

[32] J.B. Lindroos, M.E. Stout.
The separation of mixed non-ferrous metals using thermal gravity classification.
Conservation & Recycling, vol. 10. no. 2/3. pp 77-82, 1987.

[33] In Nürnberg scheiding van non-ferro metalen uit autoschroot door selectief smelten.
Recycling, februari/maart 1986.

[34] K.J. Weiss, R. Fr. Auer, W.L. Dalmijn.
Selektives Abtrennen verschiedener NE-Metalle aus Gemengen.
Metall, 36 Jahrgang, Heft 4, april 1982.

Natte magneetscheiding:

[35] W.J. Bronkala.
Purification: Do it with magnets.
Chemical Engineering, March 14 1988.

[36] J.J. Coraus, W.A. Gilbert, K.S. Liddell, R.C. Dunne.
The performance of an industrial wet high-intensity magnetic separator for the recovery of gold and uranium.
Journal of the South African institute of Mining and Metallurgy, vol. 84, no. 3, march 1984.

[37] S.E. Khalafalla, G.W. Reimers.
Benification with magnetic fluids.
Bureau of mines 1981.

[38] J. Shimoiizaka, K. Nakatsuka, T. Fujita, A. Kounosu.
Sink-float separators using permanent magnets and water based magnetic fluid.
IEEE Transactions on Magnetics, vol. mag-16, no. 2, March 1980.

Heavy media:

[39] Heavy media plant taps secondary metals resource.
Mining, June 1981.

[40] Washington Mills. Electr Minerals Corporation.
Produkt information.

Patenten:

[41] Separator for non-magnetisable metals from solid mixture.
Lindemann Maschinenfabrik EP 389767A, 1990.

[42] Magnetic separator for non-ferrous metal particles.
Andrin EP 439983, 1990.

[43] Verfahren und Vorrichtung zum Aufbereiten von Geräteschrott.
Lindemann Maschinenfabrik EP 524396A, 1993.

9 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
Novem B.V.
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers
ir. A.M.M. Ansems, afdelingshoofd
C. Verschut, projectleider
J. Pisa

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
juni 1993 tot en met december 1994

Ondertekening

C. Verschut
onderzoekleider

Goedgekeurd door

ir. A.M.M. Ansems
hoofd afdeling
Produkt- en ProduktieAfval

Bijlage 1 Brochures van leveranciers

Alpine

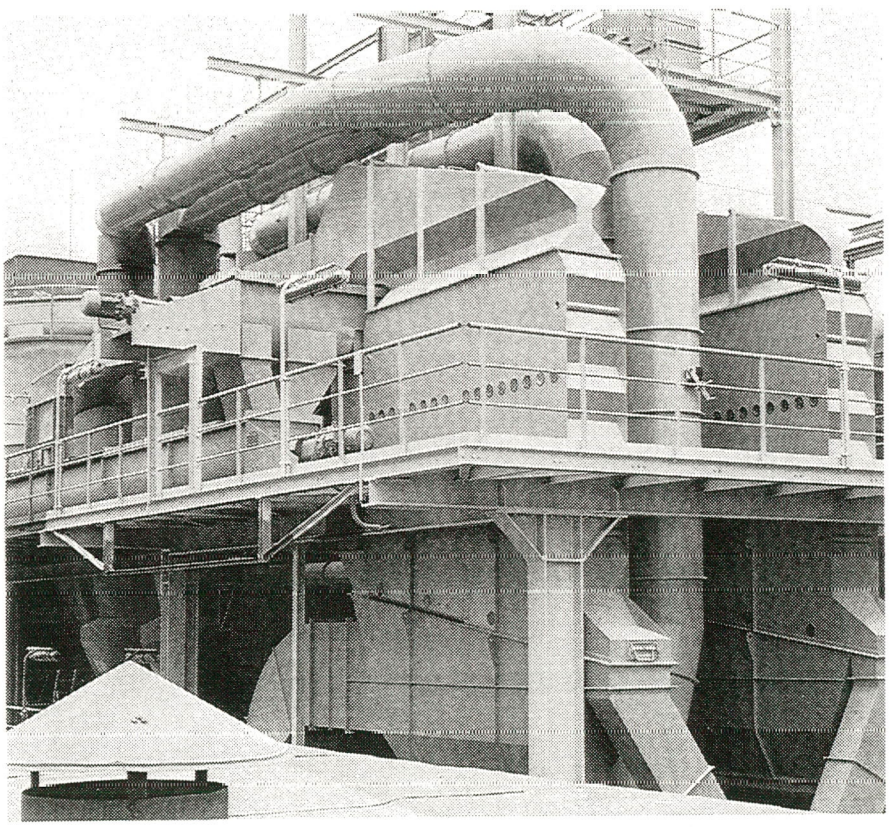
Multi-Plex®-Zickzacksichter

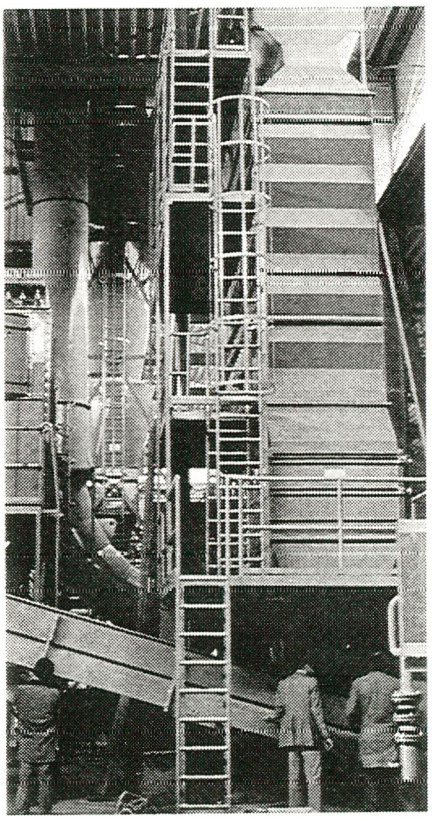
Baureihe MZM, MZF, MZH

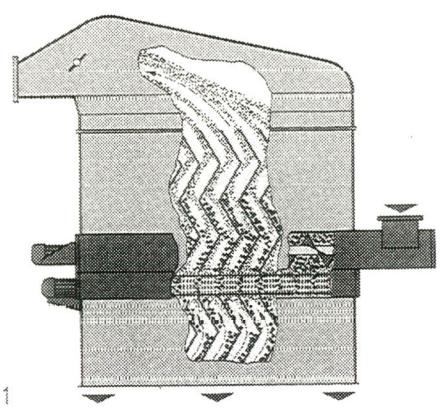
Zickzacksichter liefert Alpine in zwei Bauarten – jede in vielen Größen. Ausgeführt als Einrohr-Sichter oder als Mehrrohr-Sichter.
Je nach Material und Typ sind schärfste Trennungen im Bereich von ca. 0,1 mm ... 10 mm möglich. Der Durchsatz reicht von einigen kg/h bis zu ca. 200 t/h.
☐ Typ MZM (Abb. 1) mit Aufgabeschnecke und Schleuderwalze für faseriges, flockiges, verhakendes Gut.
☐ Typ MZF, MZH (Abb. 2) mit Flugbettrinne für körnige, frei fließende oder mit Luft fluidisierbare Stoffe.

Anwendungen
für die sich Zickzacksichter durch hohe Wirtschaftlichkeit und problemlosen Dauerbetrieb bewährt haben, sind:
☐ Trennen von Gütern, die sich nur schwer oder nicht sieben lassen.
☐ Trennen etwa gleich großer Teile nach spezifischem Gewicht.
☐ Trennen von Teilen der gleichen Siebfraktion nach der Dicke.
☐ Trennen von Massengütern, bei denen das Sieben Schwierigkeiten und hohe Kosten verursacht.

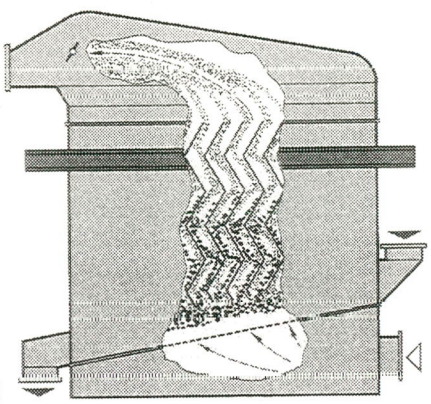
Beispiele
☐ Ölfrüchte: Sichtanlagen für Sojabohnen zur Proteinverschiebung bzw. Proteinanreicherung; Abtrennen der Schalen aufgeschlossener Erdnüsse, Baumwollsamen, Raps etc.
☐ Wertmetalle: Trennen von Kupfer, Alu etc. von der Isolation aus zerkleinertem Kabelschrott.
☐ Entstauben von Kunststoffgranulat, Koks, Kalk, Düngemittel, Bauxit etc.
☐ Abtrennen von Grobteilen aus Mittelschicht- und Deckschichtspänen in der Spanplattenindustrie.



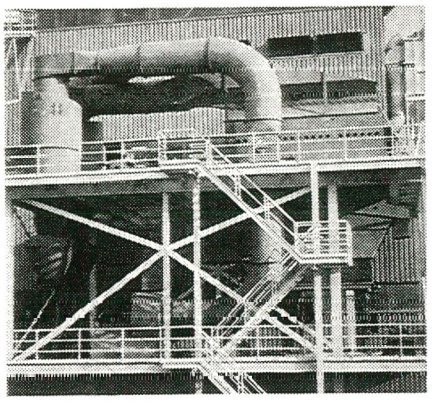


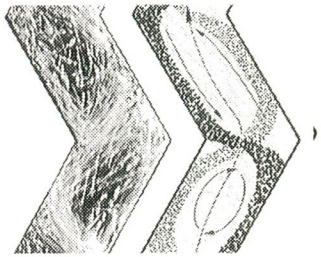


1



2





Schwerkraftsichter mit ungewöhnlichen Eigenschaften
☐ Zickzackförmiges Sichtrohr ohne Einbauten.
☐ Sichtung an jedem Knickpunkt des ZZ-Rohres; daher sehr hohe, beliebig einstellbare Trennschärfe.
☐ Sauberes Feingut bzw. Leichtgut auch bei Überlastung.

Scharfe Trennung im Bereich von d_{97} = ca. 0,1-10 mm
Zickzacksichter liefert Alpine in zwei Bauarten, ausgeführt als Typ MZM oder MZF. Jede Bauart wird in vielen Baugrößen ausgeführt als
- Einrohrsichter oder Mehrrohrsichter.

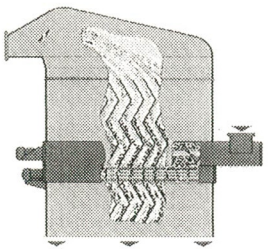
Der Durchsatz reicht von einigen kg/h beim Laborsichter bis zu ca. 200 t/h beim Mehrrohr-Großsichter.

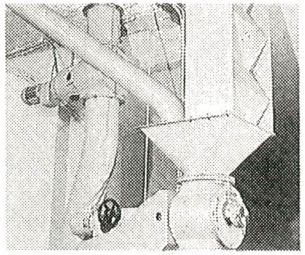
Besonderheiten
Der Zickzacksichter ist:
- in hohem Maß vollkommen wartungs- und verschleißfrei
- sicher gegen Überlastung
- in der Trenngrenze über eine Drosselklappe leicht und stufenlos verstellbar
- unempfindlich gegen Änderungen in der Zusammensetzung des Aufgabematerials.

Wegen der besonderen Eigenschaften ist eine ständige Betriebsüberwachung nicht nötig.
Einmal eingestellt, kann die Sichtanlage ohne Überwachung über lange Zeit betrieben werden.

Bauart MZM
Merkmale: Materialaufgabe in den mittleren Bereich der Sichtrohre.

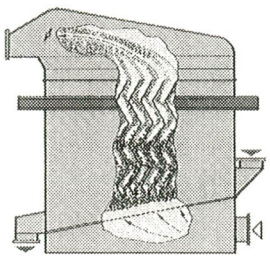
Mit Schleuderwalze zum Auflockern von Stoffen, die faserig oder flockig sind und zum Verhaken neigen.

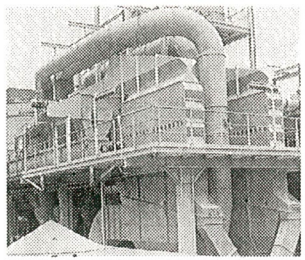


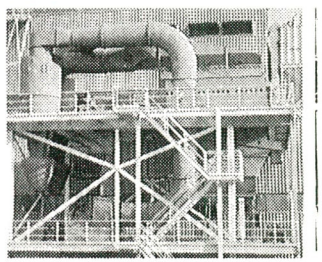


Bauart MZF
Merkmale: Materialaufgabe am unteren Ende der Sichtrohre über eine Flugbettrinne.

MZF-Sichter kommen zum Einsatz für körnige, frei fließende oder mit Luft dispergierbare Stoffe.

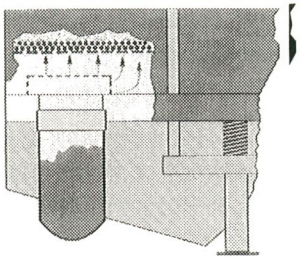






Anwendungsbereiche
☐ Ölfrüchte: Sichtanlagen für Sojabohnen zur Proteinverschiebung bzw. Anreicherung.
☐ Spanplattenindustrie: Grobteile abtrennen aus Mittel- und Deckschichtspänen.
☐ Wertmetalle: Trennen von Kupfer, Alu oder Blei von der Isolation aus zerkleinerten Abfall- und Ausschußkabeln.
☐ Entstauben von Kunststoffgranulat, Koks, Kalk, Düngemitteln, Bauxit etc.

Alpine



Für schwierige Trenn- bzw. Sortieraufgaben
Alpine Lufttrenngeräte bzw. Setzmaschinen sind zur schonenden, zerstörungsfreien Trennung der verschiedenartigsten Materialien geeignet.
Vornehmlich handelt es sich um Trennaufgaben für schwierige Probleme, wo Siebmaschinen, Windsichter oder andere Trenn-/Sortiersysteme ungeeignet sind oder hohe Stör-anfälligkeit zeigen. Lufttrenngeräte arbeiten ohne die Nachteile dieser Geräte.

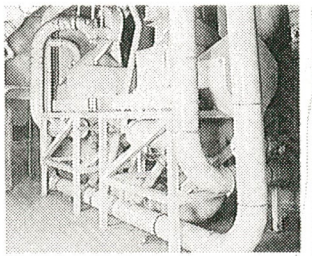
Zur Funktion
Die Arbeitsweise beruht auf einem Setzvorgang, d. h. schwere Teilchen nehmen eine tiefere Lage ein als leichtere Teilchen.

Trennmedium: Typ LT nur Luft; Typ LTK = Luft und ein Kugelbett.

Zahlreiche Baugrößen,
auch für sehr hohen Durchsatz

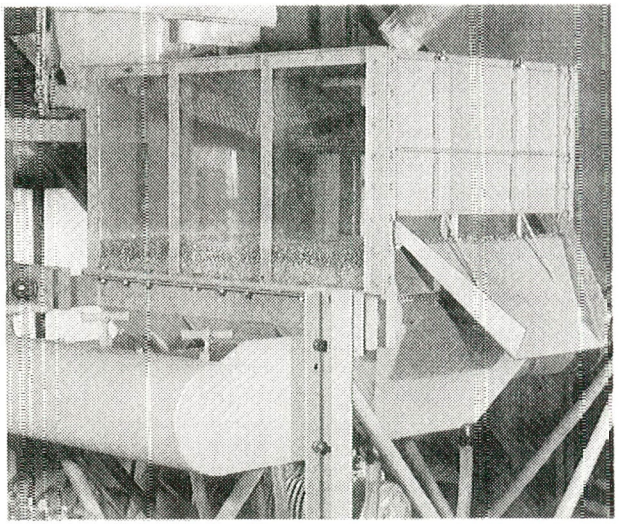
Funktionsmerkmale
☐ Abtrennen von Verunreinigungen, auch sehr kleiner Mengen, die die gleiche Korngröße wie das übrige Material aufweisen, sich jedoch im spez. Gewicht unterscheiden (Siebmaschinen ungeeignet).

☐ Trennen nach der Kornform, z. B. faserige Teile von kubischen Teilen (Siebmaschinen zwar geeignet; Störanfälligkeit gegeben durch Verstopfen oder Verschmutzen der



Luft-Trenngeräte LT
Einsatzbeispiel: Reinigen von Hackschnitzeln.

Luft-Trenngeräte LTK
... wenn es auf größtmögliche Trennschärfe ankommt.
Einsatzbeispiel: Trennen feiner Cu-Litzendrähte von der Isolation.

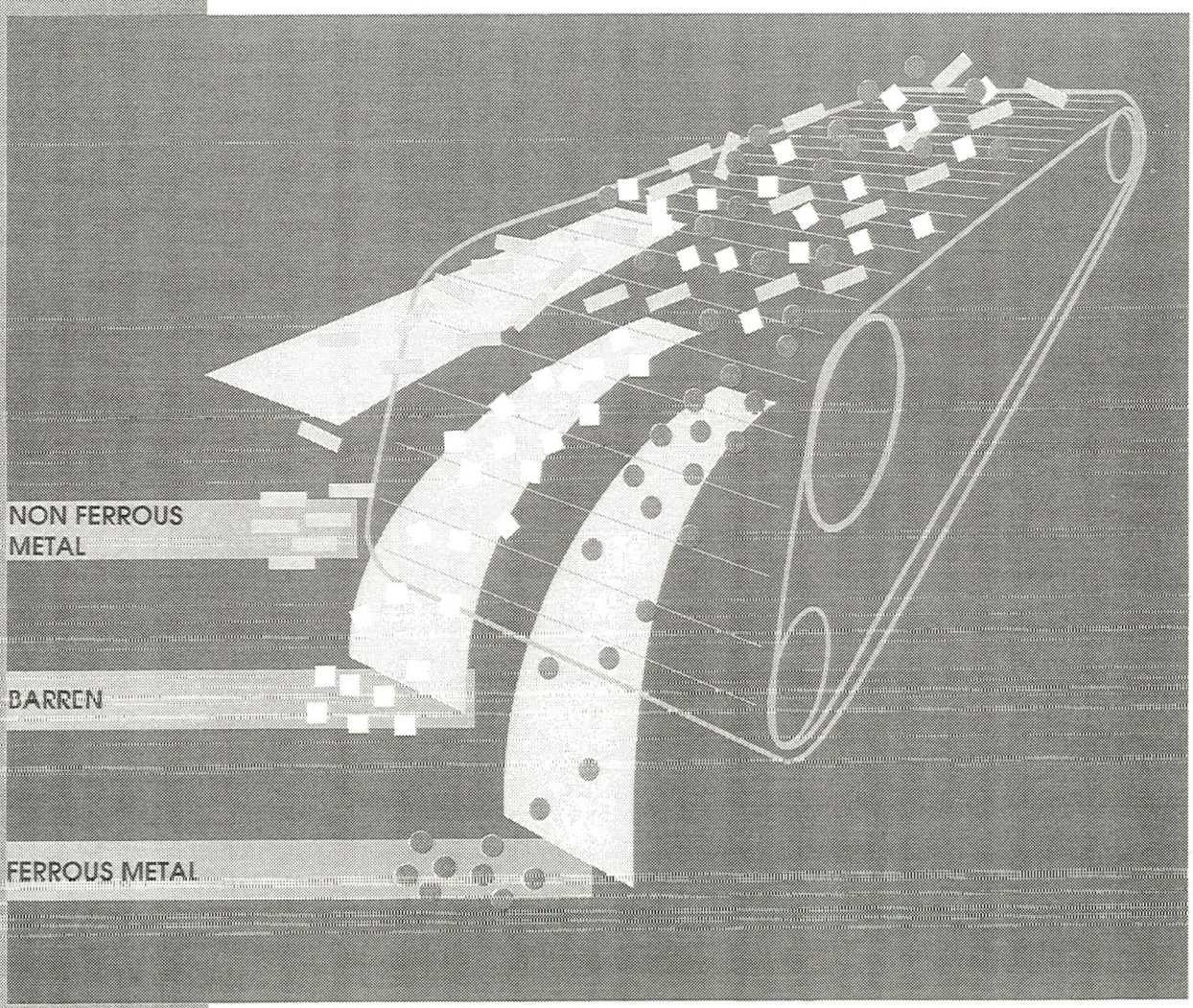


Anwendungsbereiche
- Trennen
- Sortieren
- Reinigen

☐ Wertmetallrecycling: Der Einsatz erfolgt zur trockenen Trennung Wertmetall (Kupfer) von der Isolation aus zerkleinerten und freigelegten Litzendrähten. Das rückgewonnene Wertmetallkonzentrat ist von höchster Reinheit; ebenso ist das Leichtgut (Isolation) extrem frei von Wertmetall.
☐ Hackschnitzel: Zum Abtrennen von Sand, Steinen, Schrauben, Beilagscheiben, Kugeln etc.
☐ Pilze: Reinigen von Steinen, Sand etc.
☐ Lederabfälle: Reinigen von Metall, Sand etc.

SMA

SEPARATION OF NON FERROUS METALS



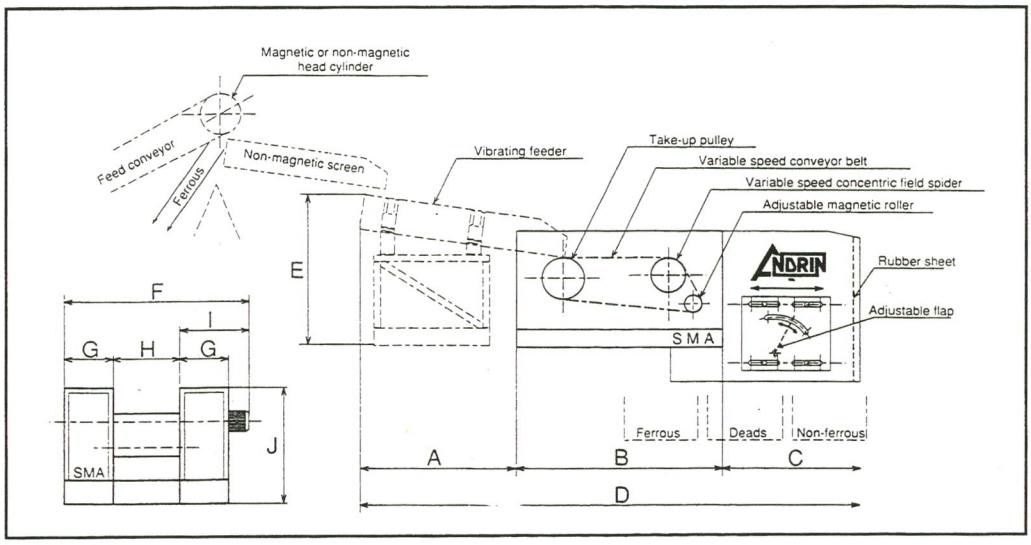
PATENT PENDING

ANDRIN GROUPE

Réf SMA - 1 - 93

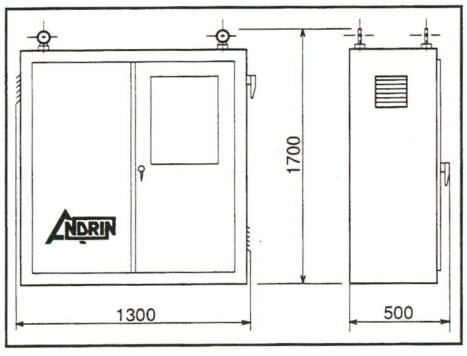
SEPARATION OF NON FERROUS METALS

Model SMA



MONITORING

Regulating switch cupboard



Type :
ACS MA 15
3-Phase power supply :
Standard 220/380 V - 50 Hz or from question
Weight of cupboard :
200 Kg for all models
Paintwork :
Grey RAL 7032 Standard
Max installed load :
15 K VA

TECHNICAL CHARACTERISTICS

Drive power, space occupied

TYPE	Belt	Polar wheel	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
SMA 40	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	1660	550	400	710	1100
SMA 60	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	1860	550	600	710	1100
SMA 80	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	2060	550	800	710	1100
SMA 100	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	2260	550	1000	710	1100
.												
.												

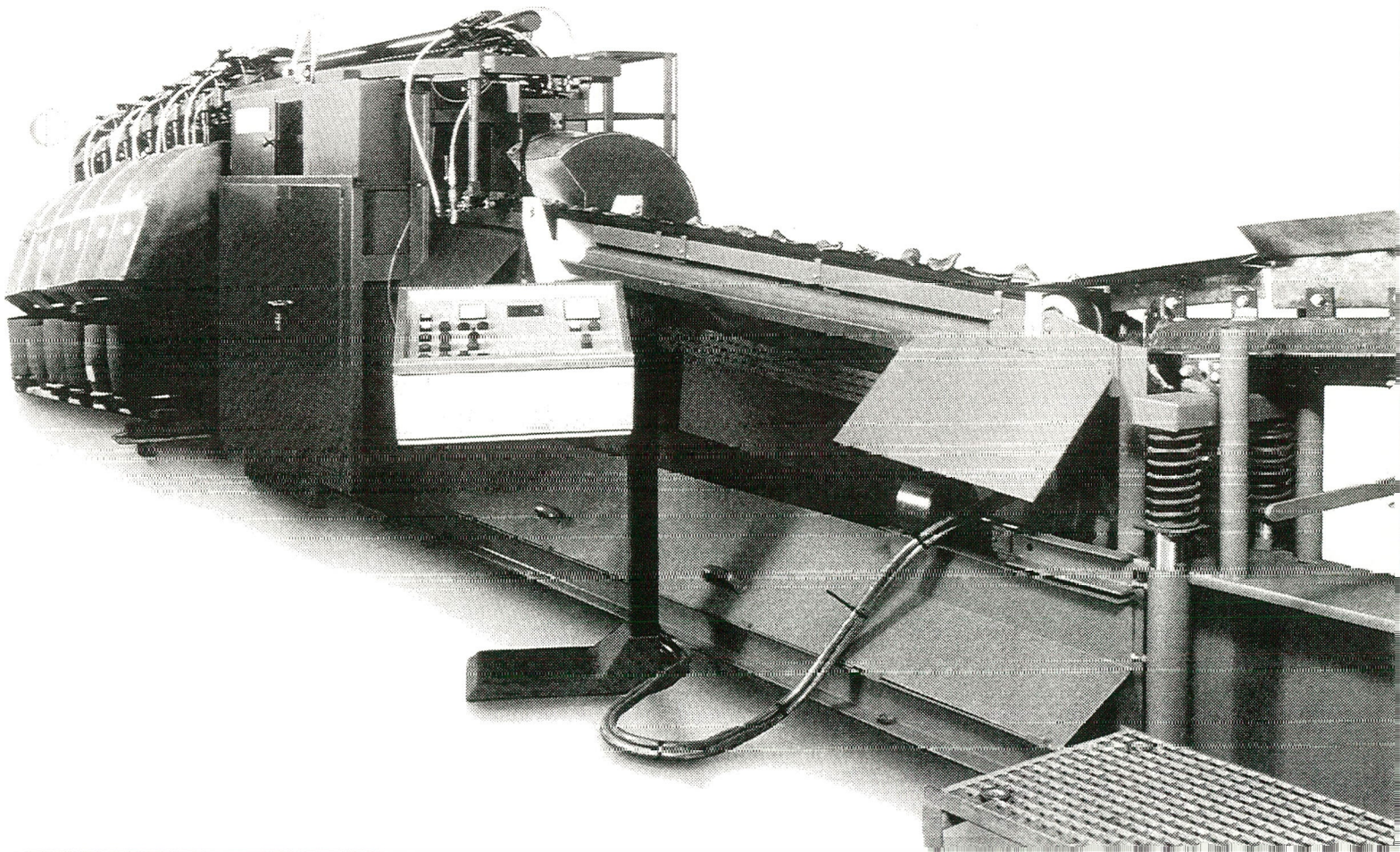
Paintwork : Orange RAL 2004

TYPE	Delivery in m³/h	Density in T/m³	Fonctional widht SMA in mm	Weight SMA in Kg	Vibrating feeder	
					Widht in mm	Weight in Kg
SMA 40	6	1	350	1750	350	
SMA 60	8	1	550	2300	550	
SMA 80	10	1	750	3100	750	
SMA 100	12	1	950	3700	950	
.						
.					OPTION	OPTION



Metal Sorting

AUMUND

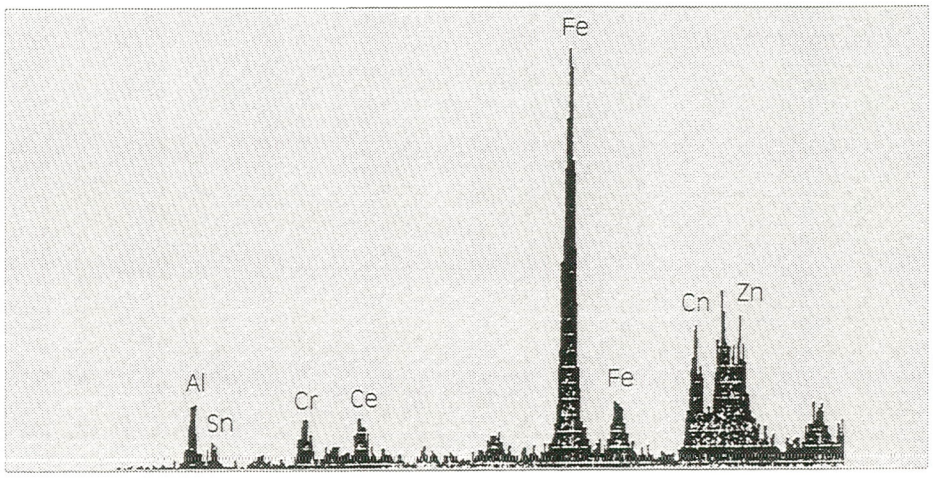


This system permits sorting according to the chemical composition of the metals. The heart of the MSA type sorting plant is an X-ray fluorescent analysis unit with a microprocessor for continuous alloy determination of the shredded metal parts (analysis spectrum). By means of the MSA, analyses of widely varying alloys are carried out extremely precisely. Up to 12 metals, from light and nonferrous heavy metals to heavy metals, are analyzed in one sorting operation. The MSA is, therefore, a productive partner wherever quick sorting of a large number of different materials is required.

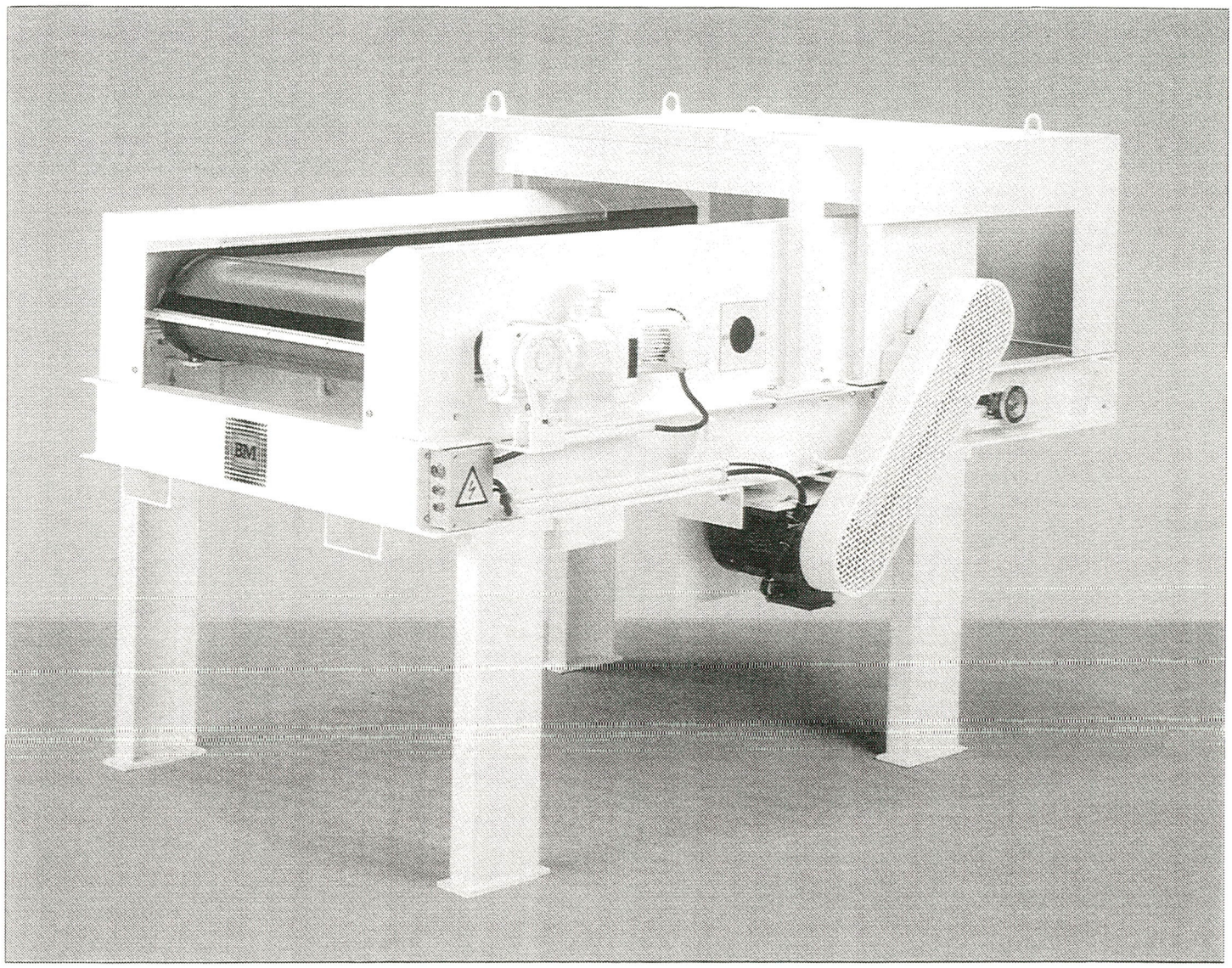
Metals that can be sorted with the MSA (standard range):

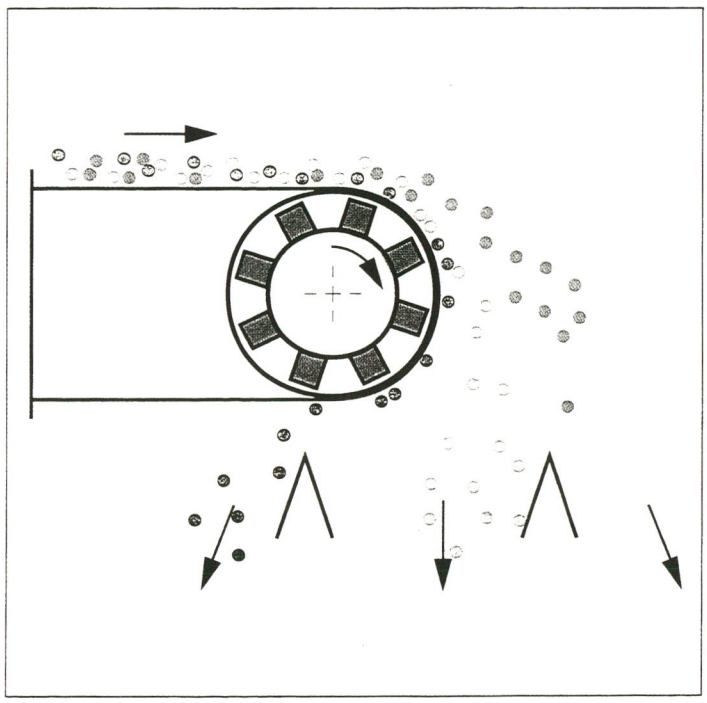
1. Magnesium (Mg)
2. Aluminium (Al)
3. Copper (Cu)
4. Zinc (Zn)
5. Tin (Sn)
6. Brass (CuZn)
7. Bronze (CuSn)
8. Lead (Pb)
9. Nickel (Ni)
10. Manganese (Mn)
11. Chromium (Cr)
12. Chromium nickel steel (CrNi)

The range can be modified or expanded upon request by the customer

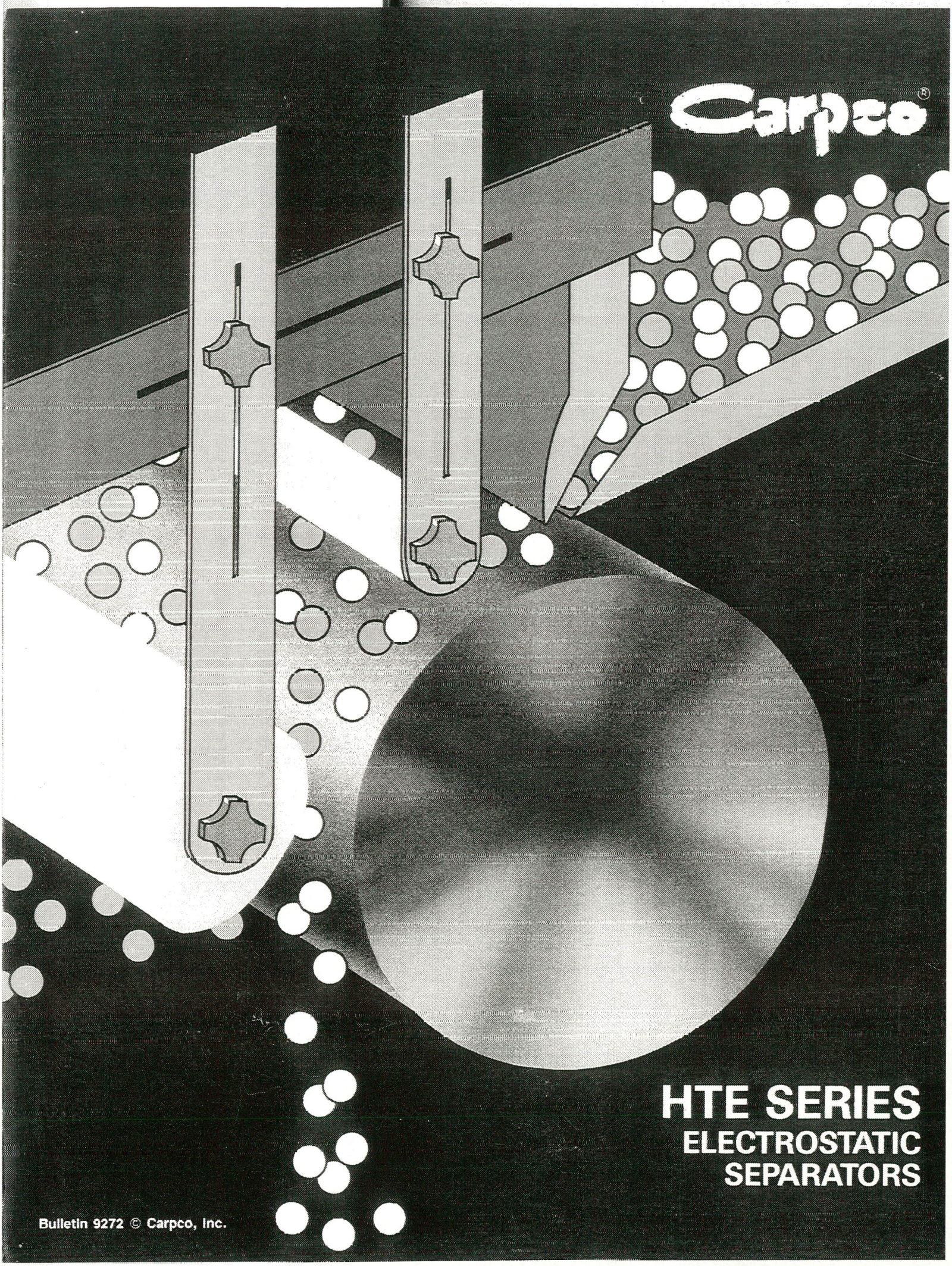


Get to the heart of the matter in 30 Milliseconds.





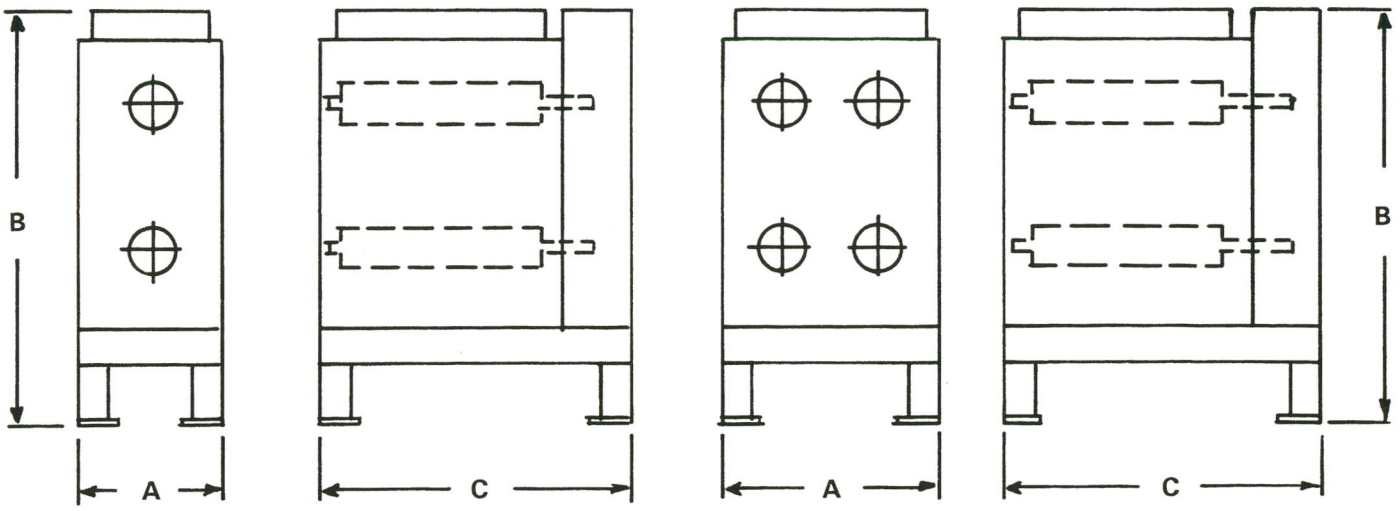
Voor het scheiden van non-ferro metalen uit goederen- en grondstoffenstromen worden door Bakker Madava verschillende systemen geleverd die werken volgens het Eddy Current-principe. De werking van deze systemen, ook wel wervelstroomscheiders genoemd, is gebaseerd op het door middel van een snel wisselend magneetveld opwekken van een elektrische stroom in de te separeren metaaldelen. Metaaldelen met een goede elektrische geleidbaarheid en een lage soortelijke massa, zoals bijvoorbeeld koper en aluminium worden sterk beinvloed door het magneetsysteem. De in het deeltje opgewekte elektrische stroom resulteert in een tegengesteld magneetveld. Hierdoor wordt bewerkstelligd dat de ongewenste metaaldeeltjes met kracht worden afgestoten en afzonderlijk kunnen worden opgevangen van de goederen- of grondstoffenstroom die bij voorbeeld in een vrije val van een transportband afvallen.
Bakker Madava non-ferro metaalscheidingssystemen kunnen compleet met trilgoot, bandtransporteur, magnetische rol en aandrijving worden geleverd. Desgewenst geheel aangepast aan de eisen van nagenoeg iedere toepassing, in capaciteiten van 5 tot 12 m^3 per uur.



HTE SERIES
ELECTROSTATIC SEPARATORS

Bulletin 9272 © Carpco, Inc.

SPECIFICATIONS: HTE SERIES



SINGLE DOUBLE

MODEL NO.	DIMENSIONS (MM/IN.)			MOTOR DRIVE(S) (HP)	TOTAL POWER (kW)	NET WEIGHT (kg/lbs.)	GROSS WEIGHT (kg/lbs.)	SHIPPING CUBE (m^3/ft^3)
	A(WIDTH)	B(HT)	C(LENGTH)					
PILOT PLANT HTE(36)111-46	1,219 / 48	2,110 / 83	1,435 / 56.5	0.75	2.0	930 / 2,050	1,157 / 2,550	6.0 / 210
PILOT PLANT HTE(36)121-46	1,219 / 48	3,073 / 121	1,359 / 53.5	1x2.0	3.3	1,905 / 4,200	2,313 / 5,100	8.5 / 300
INDUSTRIAL HTE(36)111-150	1,219 / 48	2,210 / 87	2,430 / 95.5	1x1.5	2.4	1,116 / 2,460	1,558 / 3,435	10.2 / 360
INDUSTRIAL HTE(36)121-150	1,219 / 48	3,072 / 121	2,430 / 95.5	1x3.0	3.7	2,451 / 5,800	3,084 / 6,800	13.2 / 470
INDUSTRIAL HTE(36)221-150	2,390 / 94	3,250 / 128	2,430 / 95.5	2x3.0	6.3	5,084 / 11,200	5,760 / 12,700	24.4 / 860

Notes:
1. Shipping space and gross weight include high voltage supplies and control console.
2. All HTE series separators are supplied for operation at 240/480 VAC, 50/60 Hz, 3 phase mains (single phase for models with DC drives.)
3. All specifications are subject to change without notification.

Recognized Leader in Separation Technology

Carpco, Inc.®

4120 Haines Street
Jacksonville, Florida
U.S.A. 32206
904/353-3681
Telex. 5-6367
Fax (904) 353-8705

Represented by:

Carpco APPLICATION SHEET Humphreys

ELPAC METAL DETECTOR FOR CLEANING CHOPPED "PET" BOTTLES AND RECYCLED PLASTICS

INTRODUCTION

Carpco HTE Series Electrostatic Separators are accepted by "PET" bottle recyclers worldwide for efficient removal of aluminum contamination from "PET" flake. Carpco, continuing to serve the plastics recycling industry, is pleased to introduce a new patented metal detection system as a companion unit to the HTE Series Electrostatic Separators. The Carpco/MSS ELPAC (Electro-Pneumatic Aluminum Concentrator) reduces the aluminum content of electrostatically cleaned PET from 100 ppm to less than 10 ppm with less than 2% weight rejection. Conventional deflector or cup-type metal detectors reject as much as 15-25% good PET flake to remove the same amount of metal!

This new generation of metal detector/separator is capable of processing other scrap plastics including:

- High-Density Polyethylene (HDPE)
- Polyethylene (PE)
- Polyvinylchloride (PVC)
- Polystyrene (PS)
- Polypropylene (PP)

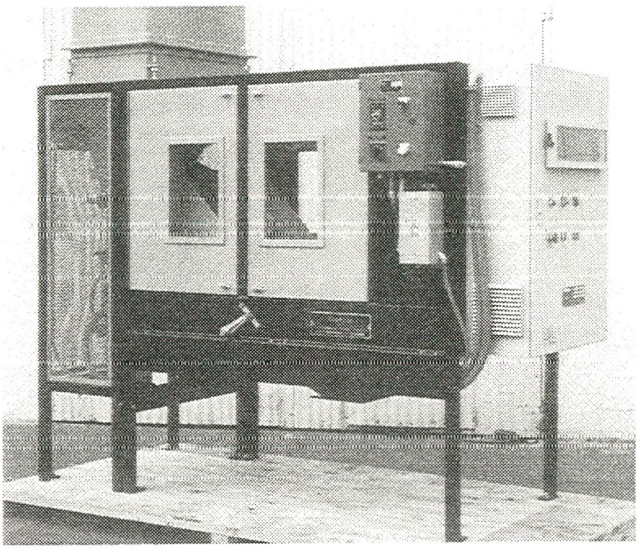
Contaminants such as aluminum foil, stainless steel fasteners and other non-ferrous materials are easily removed with minimal loss of recyclable plastic, raising extruder production rates and reducing screen changes.

The Carpco/MSS ELPAC unit (licensed technology developed by Magnetic Separation Systems, Inc.) detects metal from a flowing "sheet" of plastic particles with a unique sensor array which is electronically monitored. When one of the sensors detects a metallic particle, a powerful microprocessor turns on a corresponding air jet in the vicinity of the detected particle. The jet of air propels the metallic particles out of the flowing bed of plastics. Only a few grams of plastics are removed to capture the metallic particle.

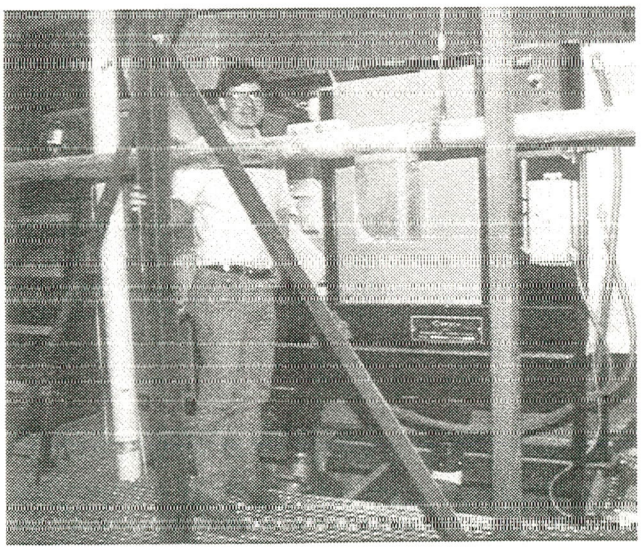
Additional information on the HTE Series Electrostatic Separators and ELPAC combination for processing PET is available on request.

BENEFITS

- Dry process; no effluent or waste water disposal required
- Low power consumption (0.7 KW)
- High-efficiency removal of remaining aluminum (+95%)
- Minimal PET flake loss, less than 2%
- Automated operation and control features
- Minimal operator attention
- Powerful microprocessor controllers
- No moving parts
- No apertures to clog or block
- Unit capacity: EL-800P 2,000 lbs/Hr
  EL-1500P 4,000 lbs/Hr



The new ELPAC metal detector is designed for removal of aluminum and other nonferrous contaminants from chopped PET, HDPE, PVC and recyclable plastics. The unit reduces metal contaminants below 10 ppm with minimal weight loss. Model shown is the EL-800P with a capacity of 2,000 pounds per hour. Other sizes are available.

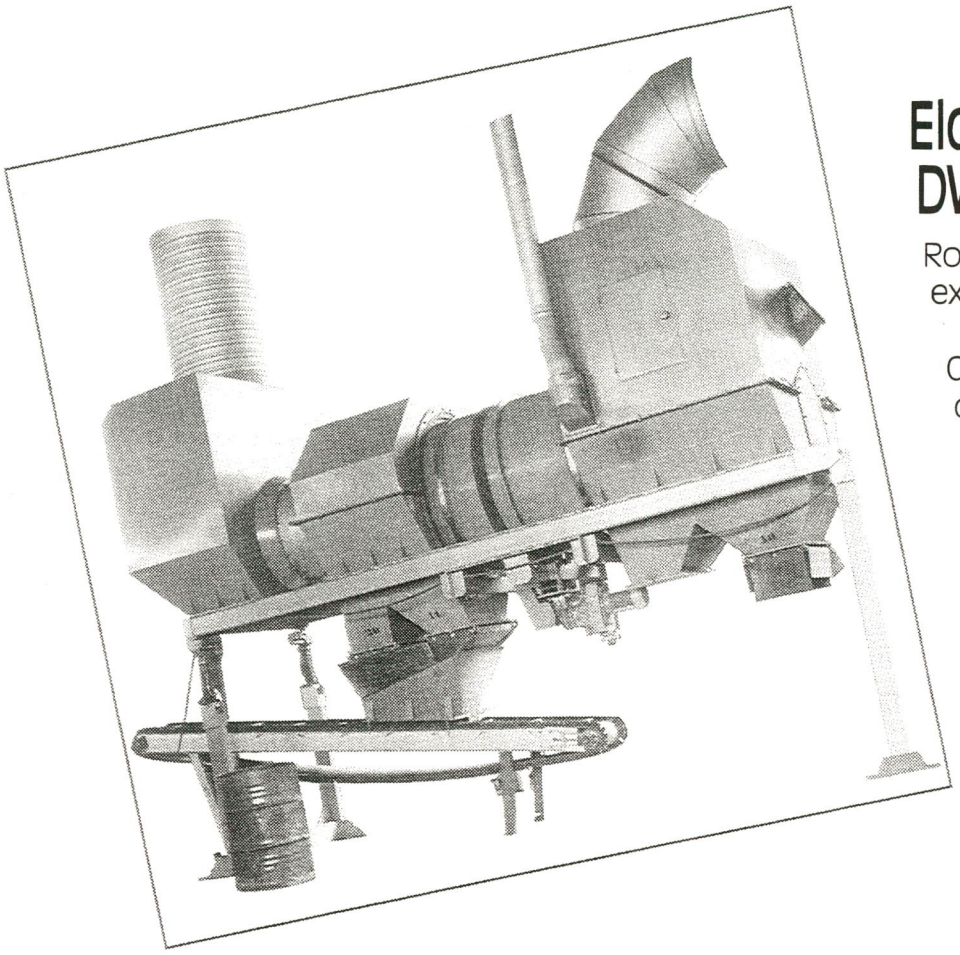


ELPAC Model EL-800P installed at wTe Recycling/STAR plant in Albany, NY. Unit processes 2,000 pounds per hour of PET flake reducing aluminum content to less than 10 ppm. The ELPAC was found to pay back in less than six months with screen pack savings alone. (Photograph courtesy of wTe Recycling/STAR.)

Eldan recycling systems

proudly present...

tionary designs...

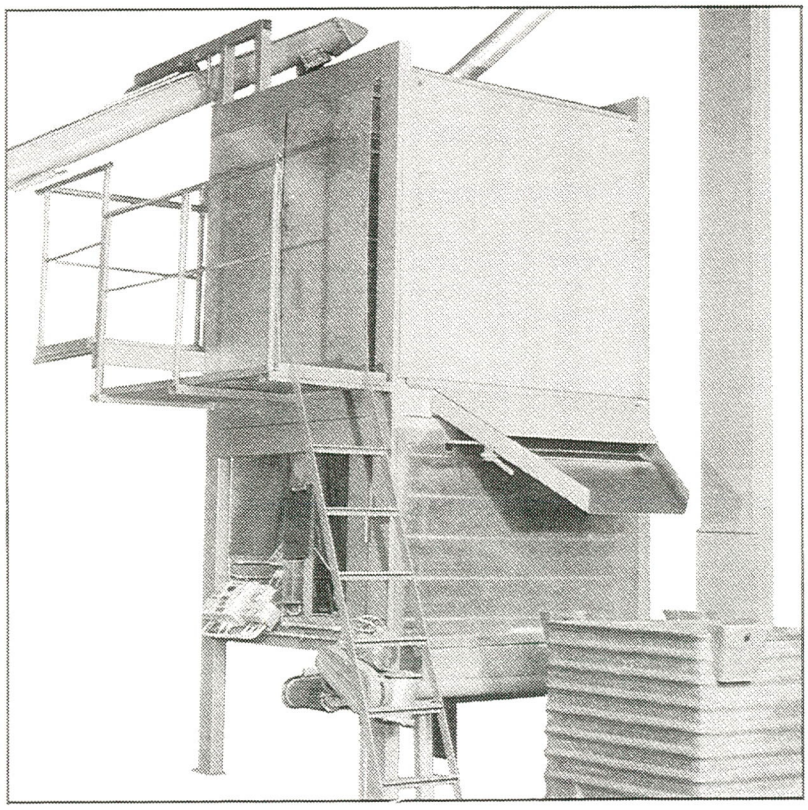


Eldan drumwindscreen DWS 12-6-10

Rotating drumwindscreen for either exhalation or inhalation of air.

Constructed for optimum separation of light particles from heavy. Ideally suited to the separation of metals, the cleaning of shredded metals and the separation of organic material from, for example, metals.

An essential unit in all shredder plants dealing with complex scrap and underground cables.



Eldan Pb/Cu separator

Thanks to the DELCO Pb/Cu separator, it is now possible to mechanically separate mixed granulates composed of copper and lead.

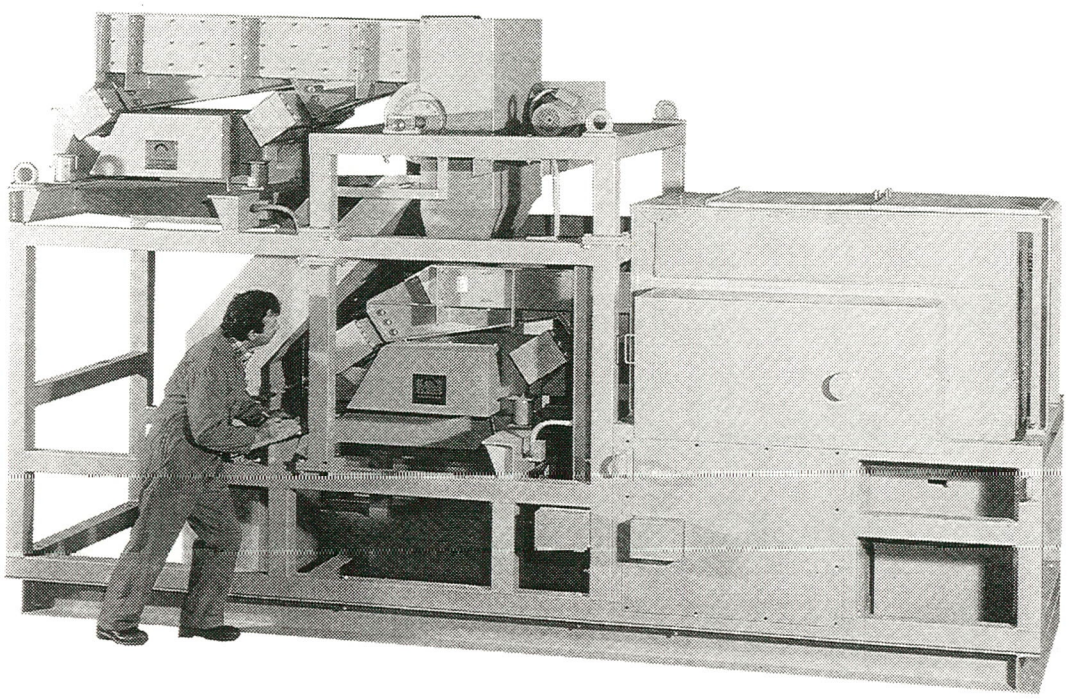
The process is automated, and the power consumption is as low as 2kW. The process capacity is around 500 – 800 kg.p.h.

RECLAIMING
WORLD
RESOURCES

Eddy Current Separators Non-Ferrous Metal Separation...

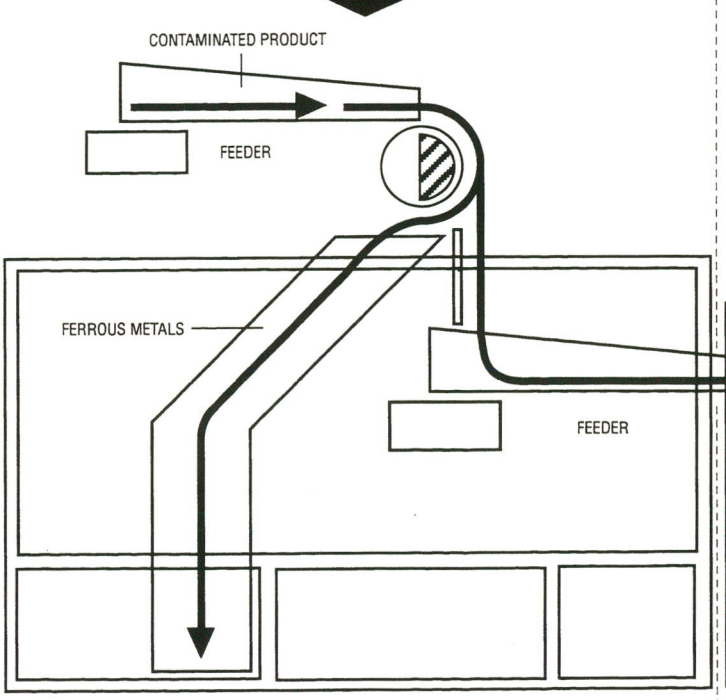
Metal Separation Systems

– Incorporating the Eriez Cotswold Model



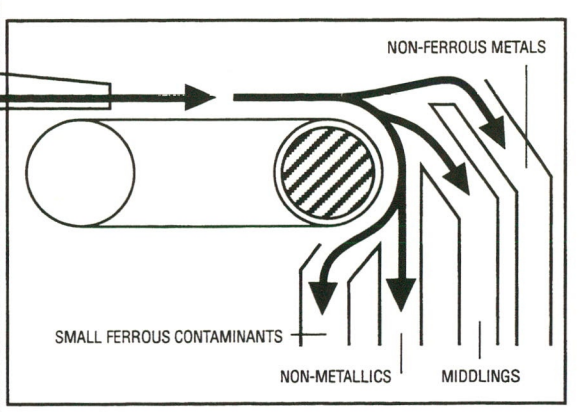
Ferrite or R.E. Drum Separator

For removal of Ferrous Metals



Eddy Current Separator

For Removal of Non-Ferrous Metals



HIGH POTENTIAL
DOUBLE-ELECTRODE DESIGN

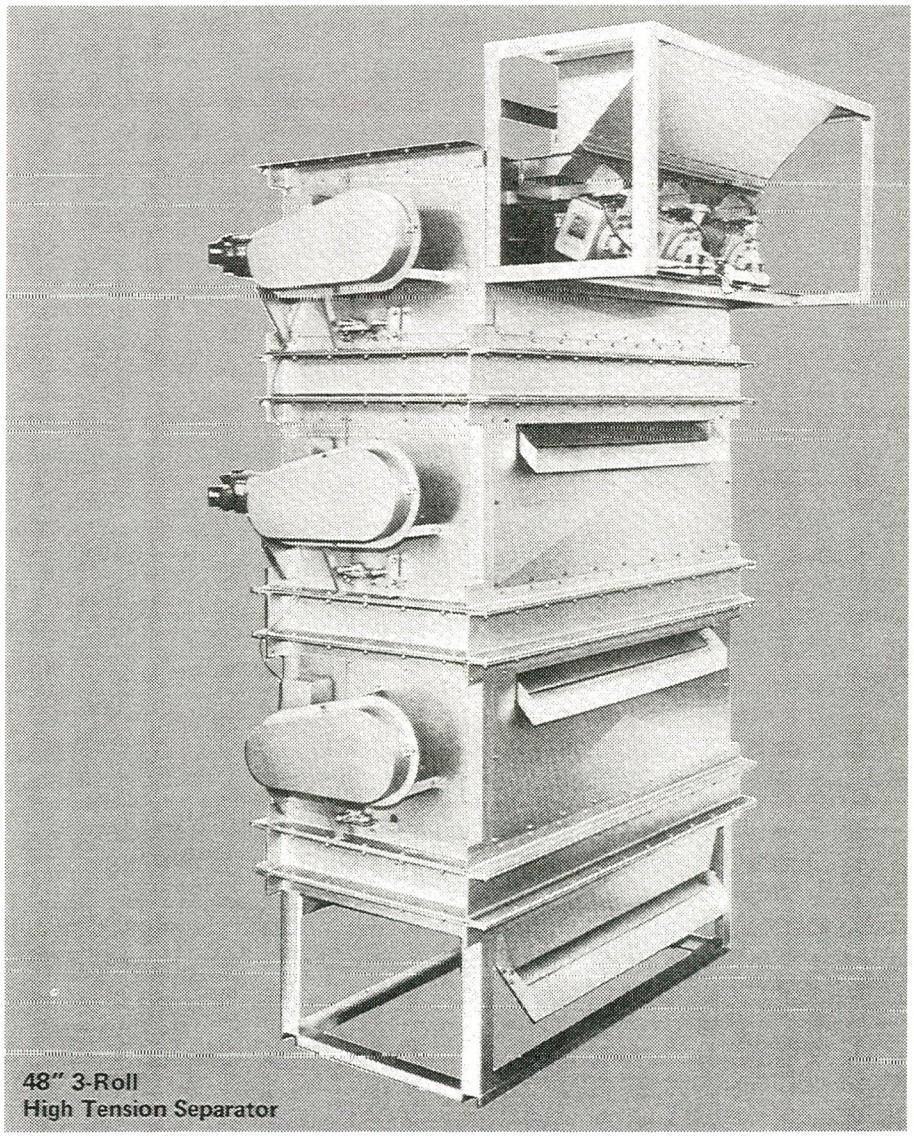
electrodynamic separators

ERIEZ MAGNETICS®

Highly efficient industrial units for separating materials based on differences in electrical conductivities.

FEATURES

- **Arcless electrodes**
- **Easily adjustable splitters**
- **Variable speed drives on each rotor**
- **Solid state power supply**
- **Severe-duty construction**



48″ 3-Roll
High Tension Separator

Efficient, advanced design, proved-in-operation laboratory and pilot plant equipment for a wide variety of materials and applications

The equipment briefly described on the following pages is used routinely in Eriez' own Test Laboratory, where hundreds of tests of customers' samples are conducted yearly. Many other units are at work in universities, commercial testing laboratories and industrial installations throughout the world.

For complete information on any equipment of interest to you, write or call Eriez Magnetics, Asbury Road at Airport, Erie, Pennsylvania 16514 U.S.A.
Phone 814-833-9881 Telex 91-4470
Fax 814-838-4960

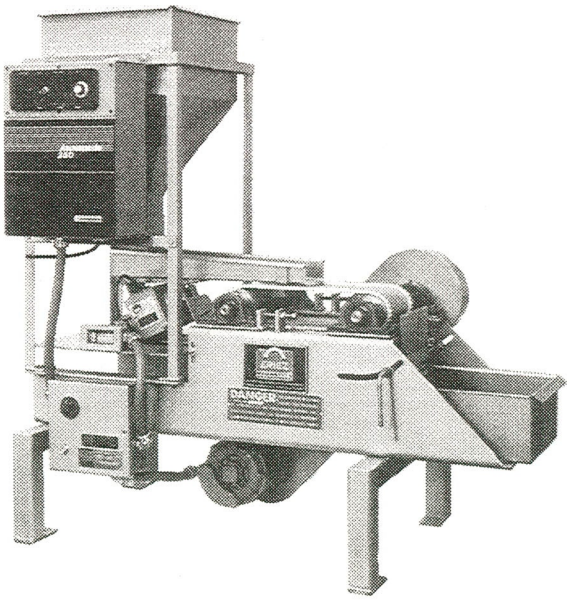
RE Roll Magnetic Separators

HIGH GRADIENT PERMANENT MAGNETIC SEPARATORS FOR THE SEPARATION OF PARAMAGNETIC MATERIALS

Eriez Rare Earth Roll Separators utilize high energy rare earth ceramic magnets to form an extremely powerful high gradient magnetic circuit. Two varieties of rare earth materials and numerous belt material options are available which gives this unit the flexibility to handle a wide variety of applications. In addition, the RE Roll radial circuit design can be utilized with various ferrite magnetic materials giving a lower cost option for ferromagnetic materials.

The RE Roll utilizes a rare earth magnetic head pulley in widths up to 40" (1016 mm). Product is fed to the belt by an Eriez electromagnetic vibratory feeder. The Eriez control, stepless from 0 to 100% of capacity, provides precise adjustment of material flow.

Depending upon the application, one, two or three rolls may be required in the separator. Feeds from ½" (13 mm) down to very fine material can be handled and capacities range up to 10 tph.

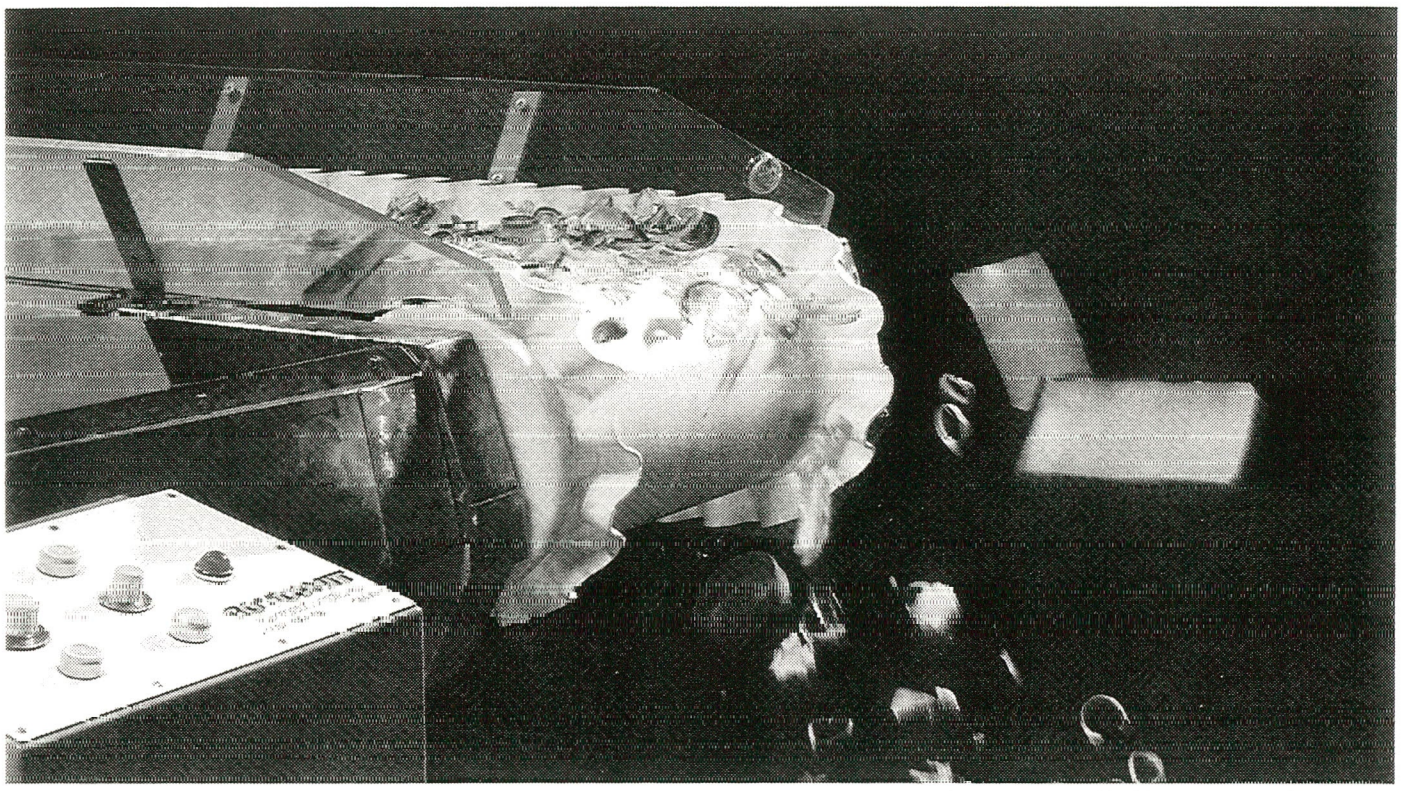


© ERIEZ MAGNETICS 1990 ALL RIGHTS RESERVED

GOUDSMIT

magnetic systems

Non-ferro Scheider



De non-ferro scheider zorgt voor het separeren van bijvoorbeeld aluminium en koper.

De Goudsmit non-ferro scheider kan worden ingezet bij het separeren of terugwinnen van non-ferro metalen zoals aluminium of koper uit te recyclen produkten of bulk-materialen. Volgens het Goudsmit principe worden de magnetiseerbare materialen zoals ijzer en blik vooraf magnetisch verwijderd. Dit verbetert de non-ferro scheiding. Bovendien zorgen ijzerdelen voor een grotere slijtage. De toepassings-gebieden voor de non-ferro scheider zijn talrijk: autoschrot, kabelafval, glas, etcetera.

Wervelstroomprincipe

Wanneer in een elektrisch geleidende massa door een veranderend magnetisch veld een spanning opgewekt wordt, dan zijn daarin wervelstromen aanwezig. Elke wervelstroom wekt een eigen magnetisch veld op. Dit magnetisch veld is tegengesteld gericht aan het oorspronkelijk veld. Dit heeft tot gevolg dat elektrisch geleidende voorwerpen - in dit geval de non-ferro metalen - uit het magneetveld worden gestoten en worden weggeslingerd.

Opbouw

De non-ferro scheider is voorzien van een transportband met een breedte van 400 mm en is regelbaar van 0,2 - 0,5 m/seconde. Aan het einde van de band is een snel-roterende Neoflux® magneetrol gemonteerd. Deze supersterke magneetrol wekt de wervelstromen op. Het toerental van de rol kan opgevoerd worden van 0 - 2800. De wervelstromen wekken een tegen-gesteld magneetveld op waardoor de non-ferro metalen van de rol wegschieten. De bijbehorende schakelkast bevat een band- en magneetrol snelheidsregelaar en een start/stop knop met lichtindicator. Andere afmetingen en snelheden kunnen naar wensen en eisen van de gebruiker vervaardigd worden.

ANDERE ONTIJZERINGS-SYSTEMEN

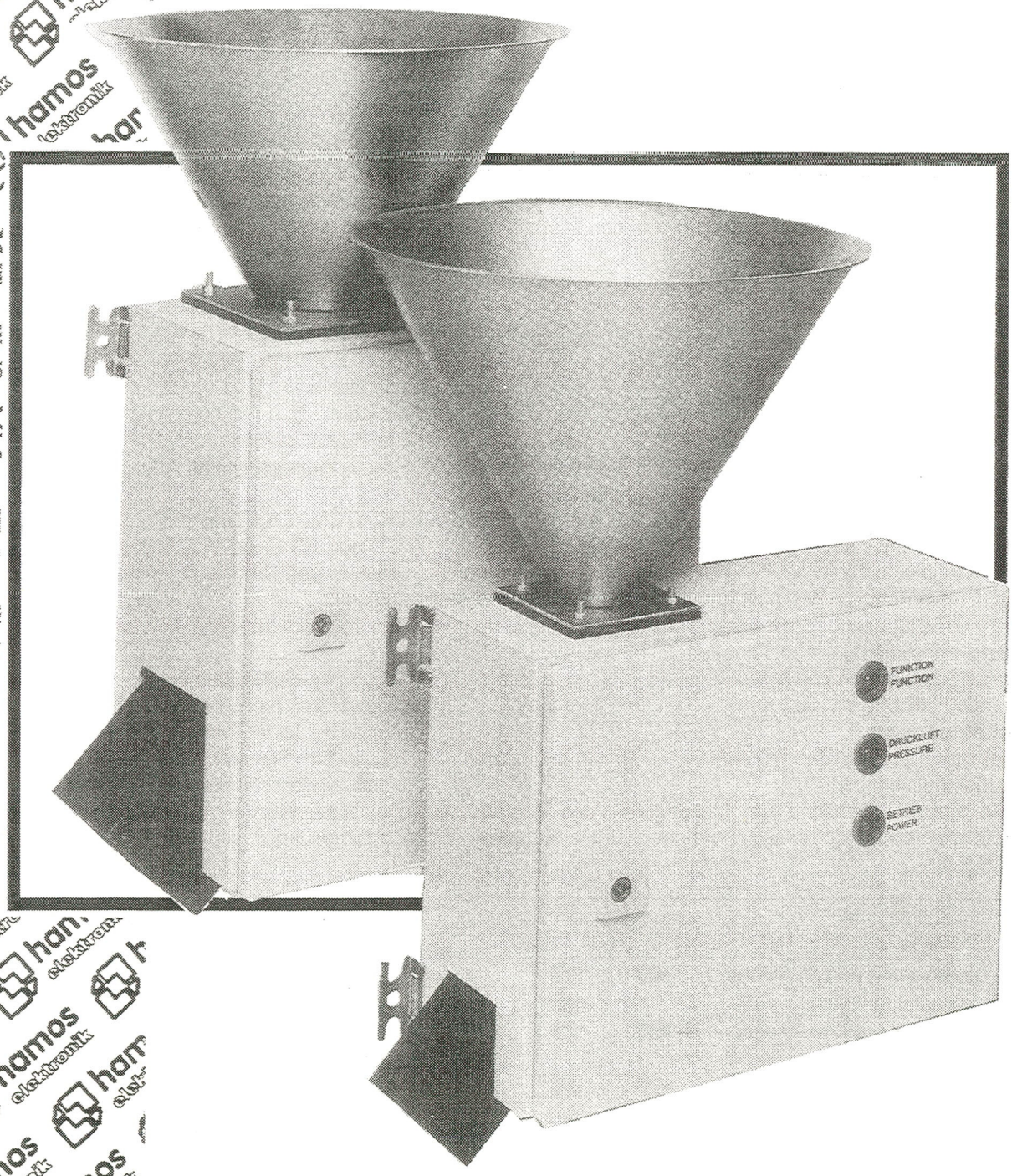
Dit is slechts een greep uit ons zeer brede assortiment magnetische ontijzeringssystemen. Ieder ijzer- of metaalprobleem vraagt om een specifieke toepassing. Het bieden van een bedrijfsgerichte oplossing is de kracht van Goudsmit Magnetic Systems. Onze technische adviseurs en verkoopteam staan graag voor u klaar.

Goudsmit
Magnetic Systems B.V.

Petunialaan 19
P.O. Box 18 - 5580 AA WAALRE/Holland
Tel.: +31-(0)4904 - 13283 - Tlx.: 51991
Fax.: +31-(0)4904 - 17325

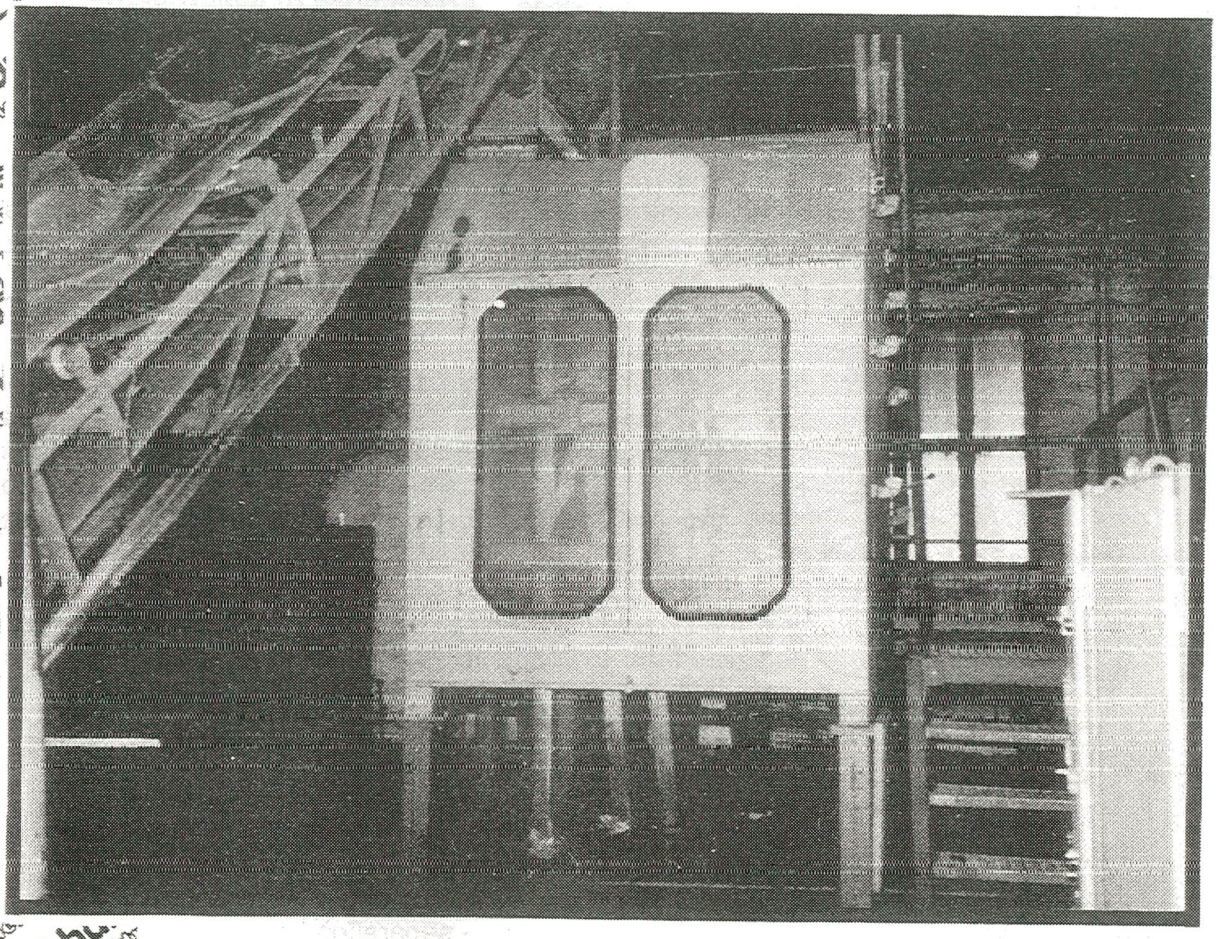
PRINTED IN HOLLAND NR. 91 / 19

Allmetall- Separatoren
Serie HS
Für freien Fall



hamos
elektronik

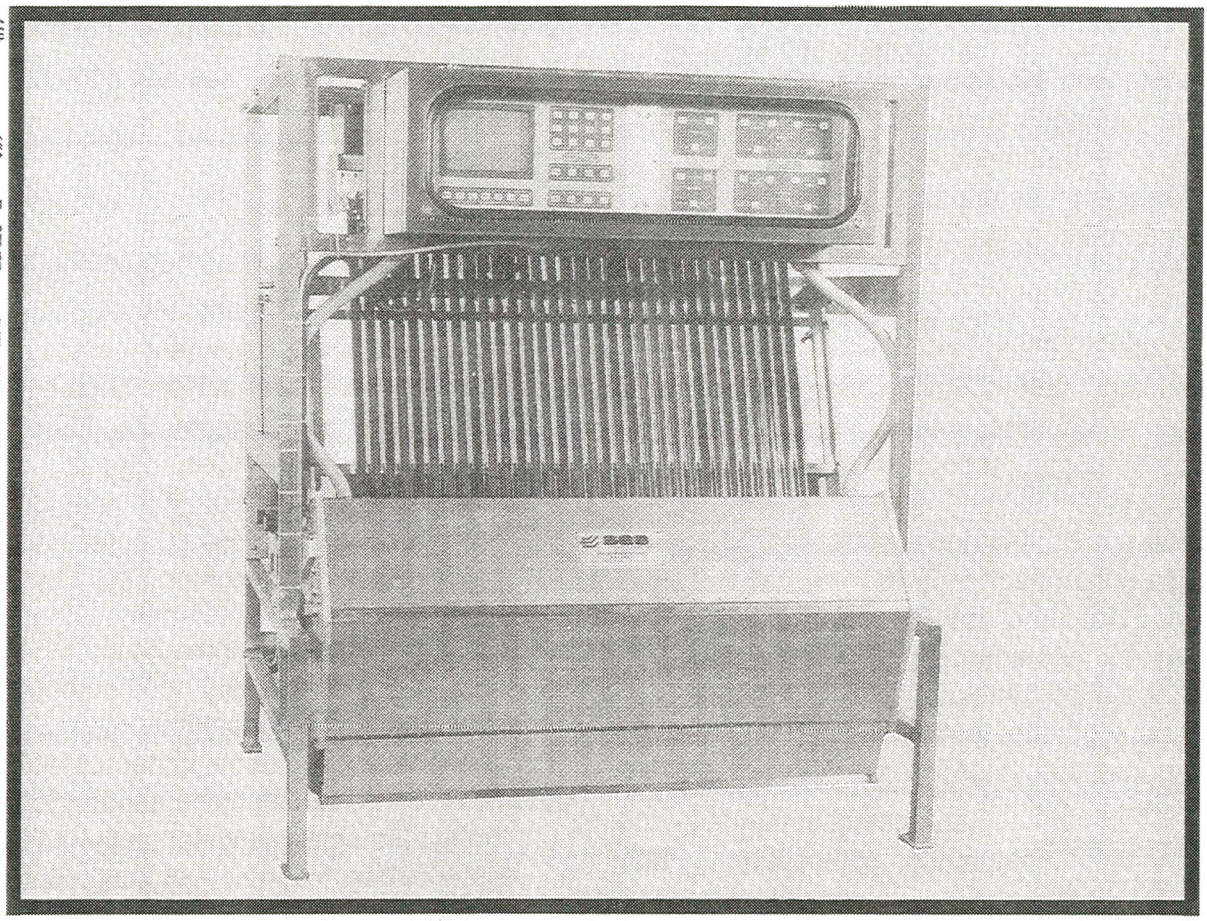
Electro-static Separators for Cable Recycling Series KWS



hamos elektronik

Wir entmetallisieren Schüttgüter

Opto-Elektronische Farbsortiermaschinen für Lebensmittel



hamos elektronik

Wir entmetallisieren Schüttgüter

sea s.n.c.

SOCIETÀ PER L'ELETTRONICA APPLICATA

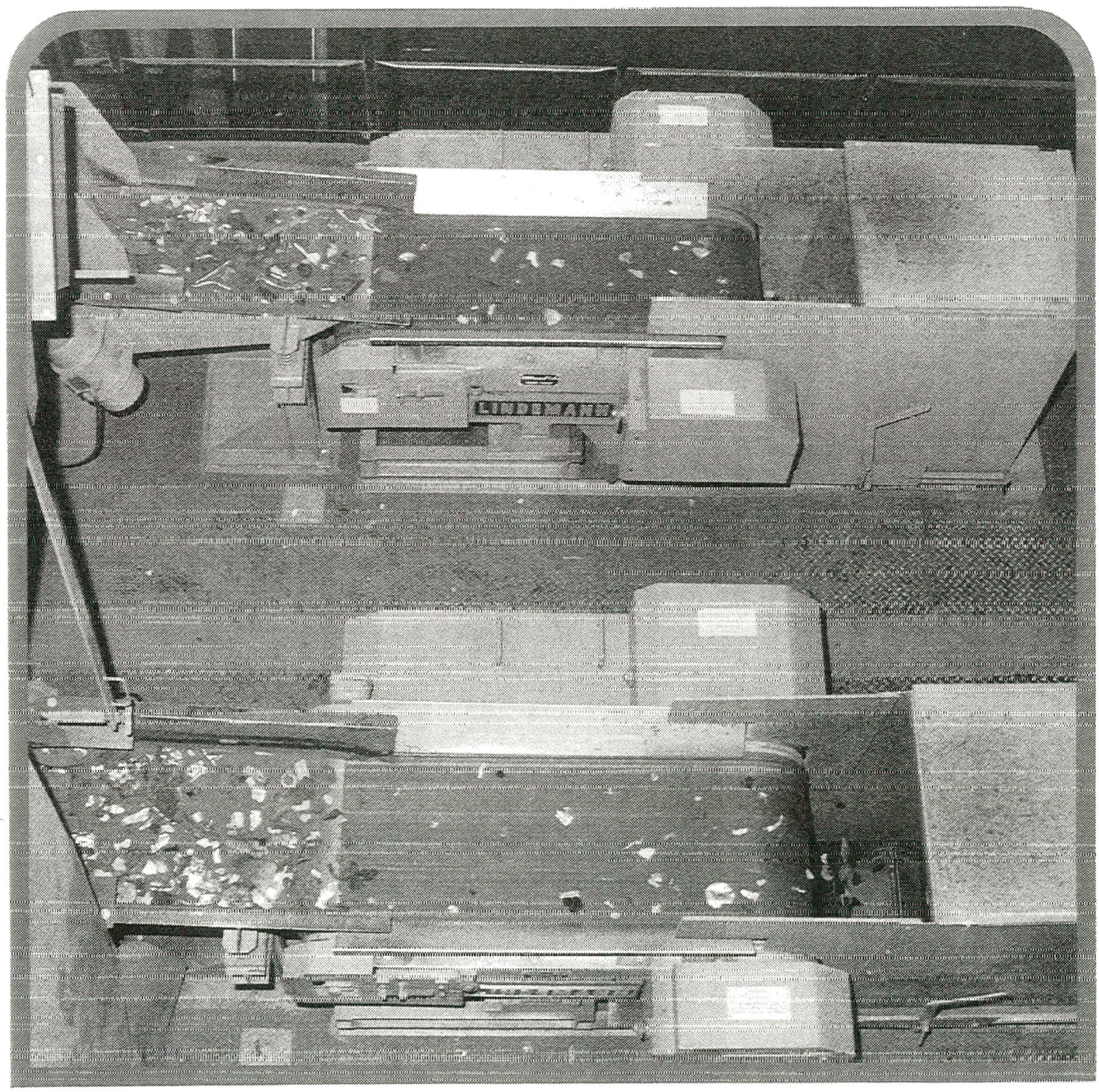
93/0573g

LINDEMANN

NE-Metallscheider
mit Elektro- und Permanentmagneten
NE-Metall-Aufbereitungsanlagen

Non-Ferrous Metal Separator
with Electric and Permanent Magnets
Non-Ferrous Metal Processing Plants

Séparateur de métaux non-ferreux à électro-aimant et aimant permanent
Installations de séparation des métaux non-ferreux



Newell Engineering

NON-FERROUS SEPARATOR

Newell Engineering specialise in the development and application of new technology systems for the separation and recovery of high grade recyclable material from solid and industrial waste to scrap. The application of the latest rare earth permanent magnet technology is the basis of the Newell "Black Magic" Eddy current magnetic separations. This technology is now in use in plants throughout the World. Examples of applications so far in use are:-

- On line separation of non ferrous metals from auto shredder residue lines on both non ferrous metal and "fluff" lines.
- Separation of non ferrous "fine" fraction from heavy media flotation plants.
- Separation of non ferrous metals from solid waste incinerator ash residue lines.
- Separation of non ferrous drosses from foundry sand.
- Separation of contaminates from non ferrous scrap prior to pre-melting processing.
- Sortation of ferrous and non ferrous containers from co-mingled solid wastes.
- Extraction of metallic contamination from process lines.

Non-Ferrous separator at heavy media flotation plant



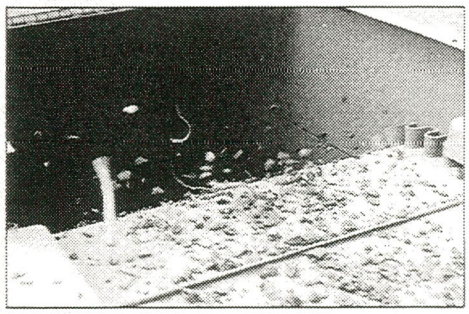
The Newell Non Ferrous Separator offers a low cost, low energy system for separation of non ferrous metals from ferrous contaminates and non metallic materials. It is effective over a size range of 3mm to 150mm (⅛"–6") and, because of the unique features provided in the design of the equipment, it can be configured to give a high purity product which is better than 98% free from contamination.

The equipment has built in as standard the following features which permit the operator to optimise separation efficiency for each type of material:-

1. Reversible magnetic drum to permit optimum separation of fine material.
2. Variable speed inverter control of magnet system rotational speed.
3. Variable speed inverter control of conveyor belt speed.
4. Independent discharge chutes for collection of ferrous, non metallic and non ferrous materials.
5. Adjustable discharge gates for ferrous and non ferrous discharge chutes.
6. Multiple guarding of conveyor belt and drum to prevent damage by ferrous metal particles adhering to the magnetic drum.

Typical installation of separator on Non-Ferrous residue line of Auto-Shredding Plant





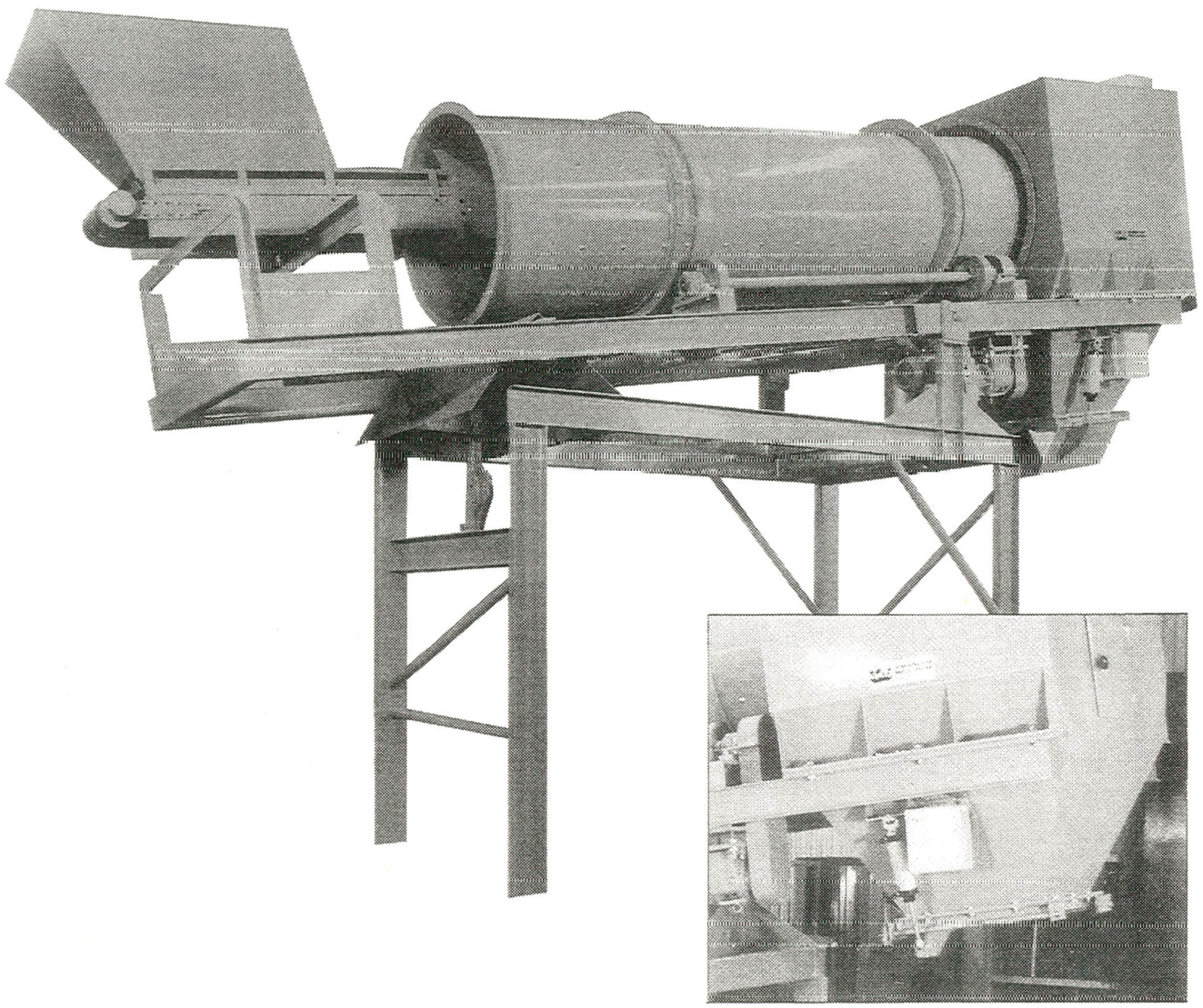




7. Automatic sequence control of start up and shut down with regenerative braking of the magnetic system drum on slow down.
8. Designed and tested at rotational speeds in excess of maximum operating speed to give maximum assurance of structural integrity of magnetic drum.
9. Fan cooled bearing assemblies to ensure maximum bearing life under all environmental conditions.
10. Colour coded wear indicator on magnetic drum cover.
11. Permanently installed hydraulic jacks to enable operator to change conveyor belt using simple hand tools and without need for external craneage.

Above top: Non-Ferrous metals recovered from residue line
Above: Non-metallic residues after separation
Centre: Black magic separator in operation

SCANDINAVIAN RECYCLING AB



DRUM WIND SEPARATOR TRV 10

The drum wind separator TRV 10 has been developed to separate crushed complex scrap into:

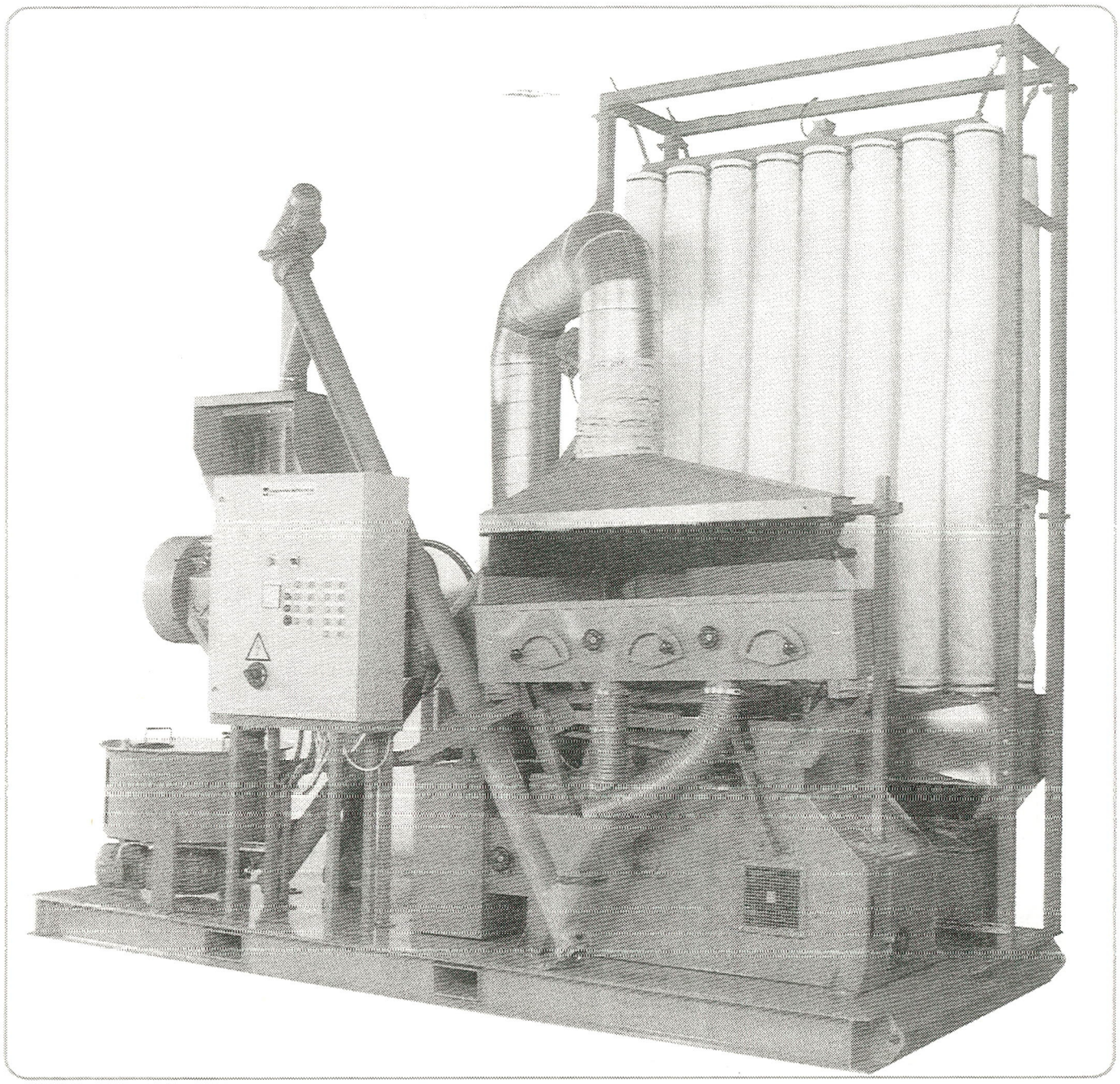
- light copper fraction with organic material
- heavy copper fraction
- aluminium fraction

The effective separation of the raw material is achieved through:

- variable speed of the drum itself
- big range of angle of inclination
- big range of adjustment for air velocity
- visual contact with the separation process
- easily exchangeable end screen when processing different types of material

To minimize wear and reduce the noise level, the interior of the drum is clad with rubber. The raw material is fed into the drum by a belt conveyor.

SCANDINAVIAN RECYCLING AB



MINI-MODULE

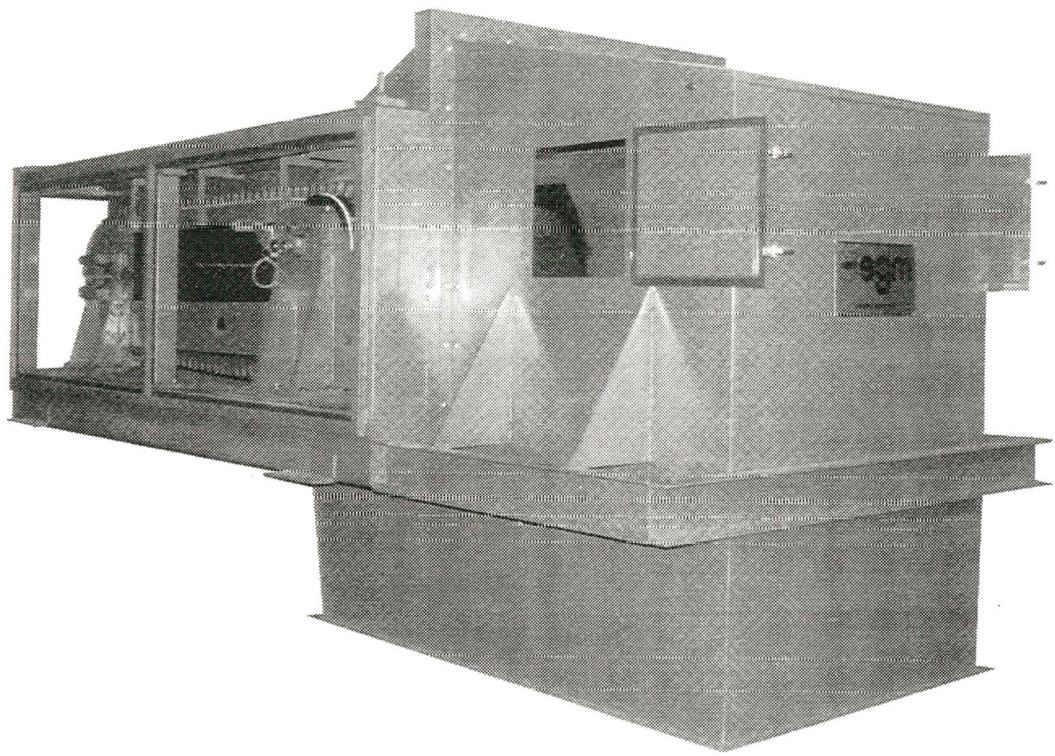
For more than twelve years we have supplied over 70 plants for recycling of cable. In every-one we have used the GK 650 M granulator and TSB separatortable. The same reliable machines are used in our Mini-Module.
Other main features are:

- The Mini-Module is a complete cable recycling plant designed to process pre-cut cable without steel and grease with a maximum diameter of 30 mm.
- We can offer optional equipment such as shears, strippers, pre-choppers and beltconveyors for the Mini-Module.
- The purity of end products are better than 99% and the metallosses less than 1%.
- The Mini-Module is small in size and can be transported in a 20 fot container or on a truck and easily handled by a forklift truck.
- The capacity is approx 300-500 kg per hour for cable with minimum 50% metal content, when using a 4 mm screen in the granulator.
- The Mini-Module is a one-man operated plant with built-in automatics and fee-ding hoppers.

SIS separator

SUPER-EDDY CURRENT SEPARATOR

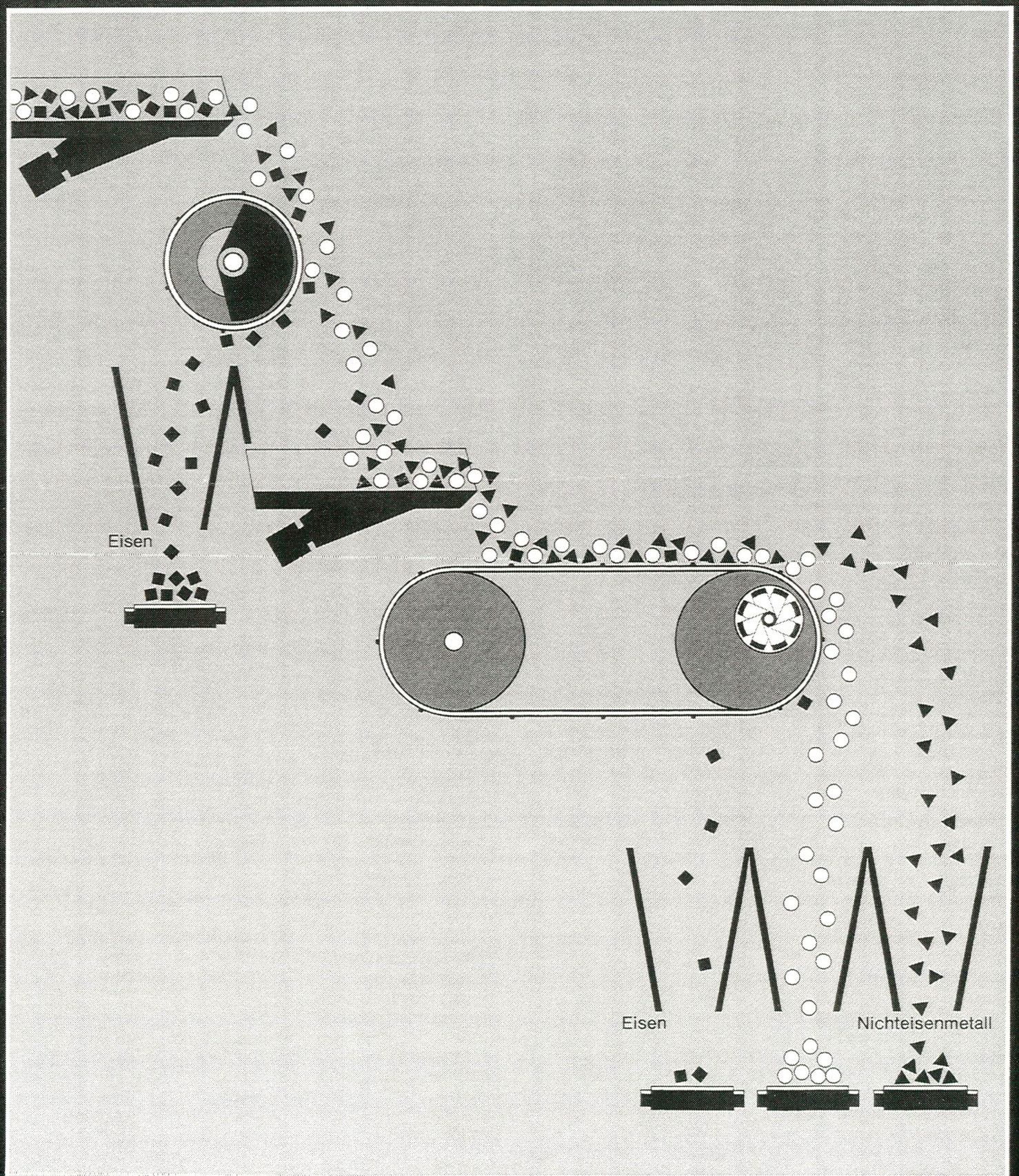
sgm



STEINERT

ELEKTROMAGNETBAU

Separationsanlage für Nichteisenmetalle



Druckschrift 10-90

Elektronikschrott–Aufbereitung mit dem Korona–Walzen–Scheider KWS

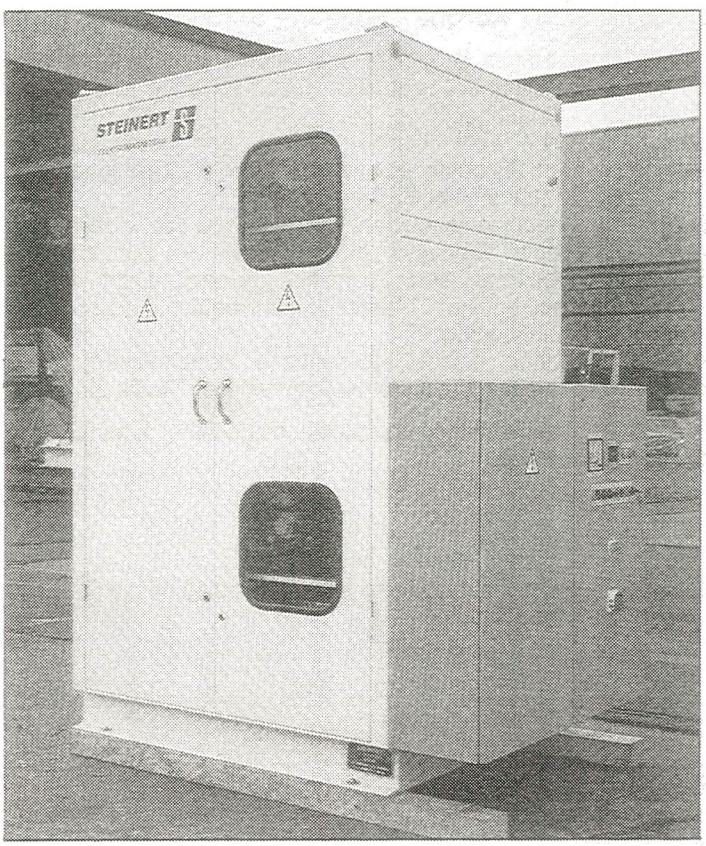


Abb.1: STEINERT Korona–Walzen–Scheider KWS 50–2

Elektronikschrott–Aufbereitung

Bei Elektronikgeräten werden zunächst alle inneren Bestandteile aus dem Gehäuse entnommen und entsorgt. Bei diesem Arbeitsgang werden die Leiterplatten, Kabel, Bauteile, Kunststoffgehäuse und Bildröhren in einzelne Fraktionen sortiert. Diese Fraktionen durchlaufen jede für sich eine mechanische Zerkleinerung. Anschließend wird Eisen mit STEINERT Magnetscheidern und NE–Metall mit STEINERT NE–Metall–Abscheidern abgetrennt.

Je nach Konzeption der Anlage kann nach jeder Zerkleinerungsstufe eine Eisen– und NE–Metall–Abtrennung nachgeschaltet werden. Bei kleinen Korngrößen ab unter 5 mm kommt dafür im Trockenverfahren der elektrostatisch arbeitende **STEINERT Korona–Walzen–Scheider** (Abb. 1 und 2) zum Einsatz, der sämtliche Metalle, also auch magnetisierbare, von nichtleitenden Materialien trennt.

Der STEINERT Korona–Walzen–Scheider konzentriert z. B. das Kupfer der Leiterbahnen aus gemahlenen Platinen (Abb. 3 und 4).

Weitere trennbare Stoffe im Elektronikbereich:

Jede Kunststoffart von Metallen, incl.

Aluspäne von PVC, Polystyrol und sonstigen Kunststoffen

Kupferdrähte von PVC

Nickel/Kupfer/Chrom von galvanisierten Plastikgehäusen

Andere Einsatzbereiche:

Kabelschrott

Stanzabfälle

Erzaufbereitung, z. B. Zinn von Quarz

Durch STEINERT Korona–Walzen–Scheider wiedergewonnene Grundstoffe lassen sich aufgrund ihrer hohen Reinheit gewinnbringend vermarkten. Zudem können Schuttfraktionen, die durch den Korona–Walzen–Scheider gereinigt wurden, viel kostengünstiger und umweltschonender auf Deponien abgelagert werden.

Besonderheiten der STEINERT Korona–Walzen–Scheider

Die Entladungsspitzen werden immer dann, wenn sie zu verschmutzen drohen, automatisch durch Luftdruckdüsen gereinigt.

Die Konstruktion wurde auf Betriebssicherheit und Langlebigkeit optimiert.

Die aufwendige Gestaltung der Zuführungen, der Rinnen und des Gehäuses ermöglichen eine einfache Wartung.

Komplette elektrische Steuerung

Sehr niedrige Betriebskosten (2 kVA)

Sehr hohe Sauberkeiten durch mehrstufigen Aufbau möglich. Auch einstufig erhältlich.

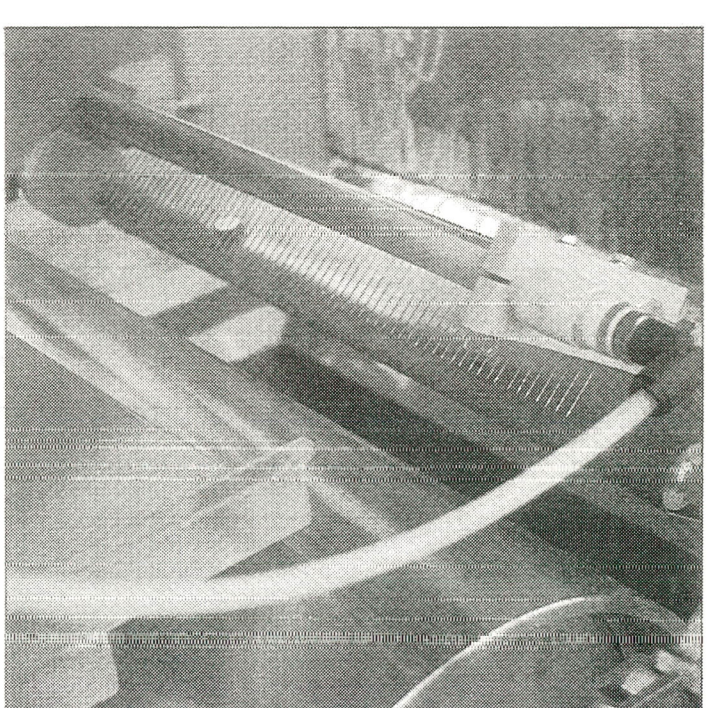
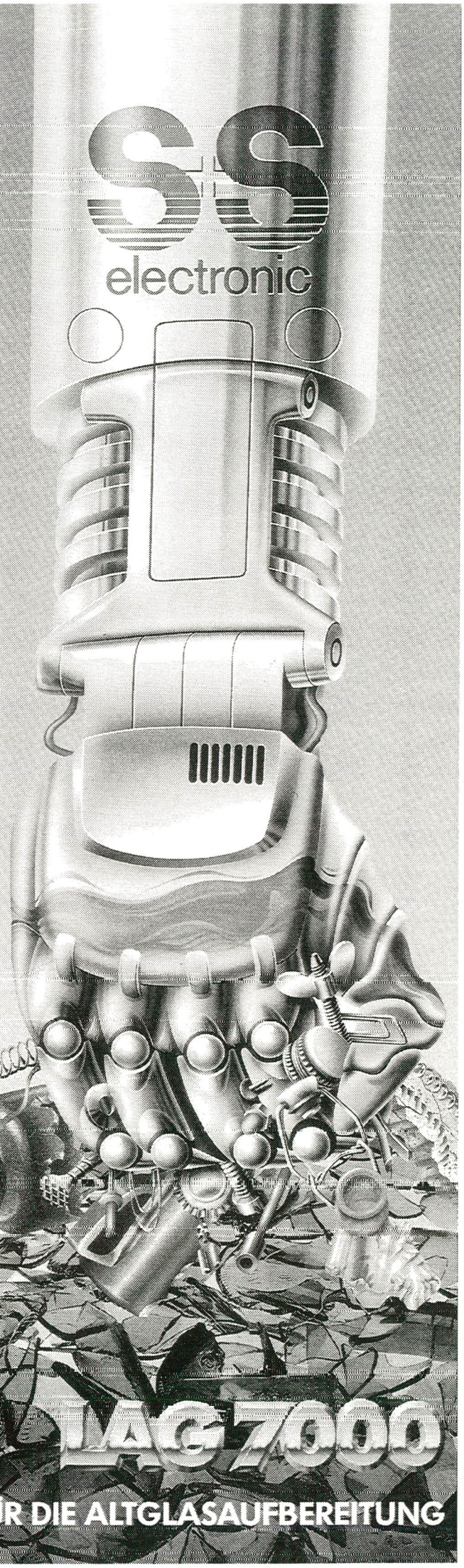


Abb.2: Korona–Entladungsspitzen mit Ausblasvorrichtung, Zuführungsrinnen und Walze

Auf der Suche nach allen Schadstoffen, die Ihre Altglas-Aufbereitung trüben

S&S electronic



geveke machines

Business Unit van Geveke Werktuigbouw bv

Postbus 820 - 1000 AV Amsterdam
Tel. (020) 582 9111 - Fax (020) 686 1604

MAG 4000 MAG 7000

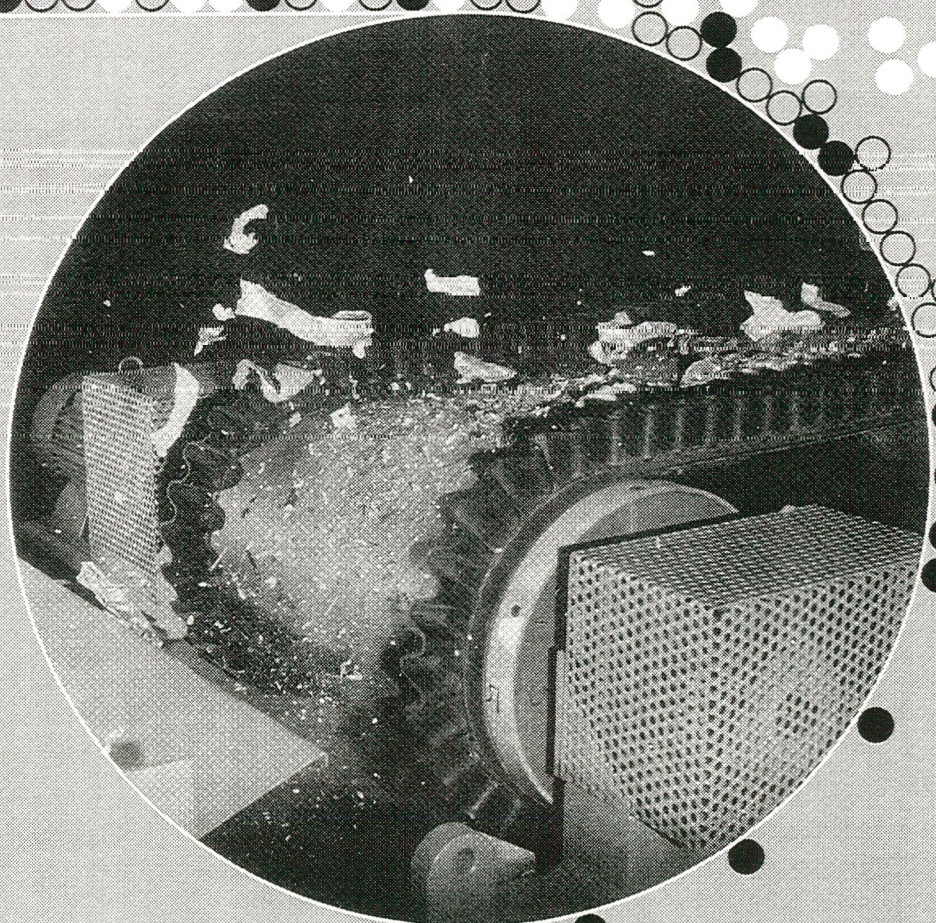
DIE SCHADSTOFF-AUSSCHEIDER FÜR DIE ALTGLASAUFBEREITUNG

wagner
magnete

Wagner KG
D-8941 Heimertingen
Telefon 08335/741
Telex 54529 wagner d
Telefax 08335/8673

L 0428
12/90

Nichteisen-Scheider



TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon 055 - 549 34 93
Fax 055 - 541 98 37

Inventarisatie van de internationaal leverbare recyclingapparatuur voor de afscheiding van non-ferro's

Referentienummer 94-281
Dossiernummer 112322-24637
Datum december 1995
NP

Auteurs
C. Verschut
ir. A.M.M. Ansems
J.C. Pisa

Trefwoorden
- demolition
- equipment
- grinding
- inventory
- non-ferro
- recycling
- separation
- wastes

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Bestemd voor
Nationaal Onderzoekprogramma
Hergebruik van Afvalstoffen
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame ontwikkeling en milieugerichte procesinnovatie.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Colofon

Contractnummer: 353393/0110

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH).

Beheer en coördinatie van het NOH-programma berusten bij:

Novem
Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu B.V.
St. Jacobsstraat 61, Postbus 8242
3503 RE Utrecht
Tel: 030 - 36 34 44
Dit onderzoek is begeleid door: Ir. H.J.M. Kruijdenberg.

RIVM
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Antonie van Leeuwenhoeklaan 9, Postbus 1
3720 BA Bilthoven
Tel: 030 - 74 91 11
Dit onderzoek is begeleid door: ir. M. de Weerd.

Het NOH geeft geen garantie voor de juistheid en/of volledigheid van gegevens, ontwerpen, constructies, produkten of produktiemethoden voorkomende of beschreven in dit rapport, noch voor de geschiktheid daarvan voor enige bijzondere toepassing.

Het onderzoek is uitgevoerd door: TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie.

Datum van rapportage: 31-12-1995.

Meer exemplaren van dit rapport zijn tegen betaling van *f* 25,= verkrijgbaar bij TNO-ME, Apeldoorn.

Samenvatting

Het doel van het onderzoek dat TNO, afdeling Produkt- en ProduktieAfval, in opdracht van NOVEM en RIVM, in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) heeft uitgevoerd is, het inventariseren van de internationaal leverbare recyclingapparatuur voor de afscheiding van non-ferro's uit afvalstromen en het beoordelen van de toepassingsmogelijkheden in Nederland.
Deze inventarisatie is gebaseerd op literatuuronderzoek en op gesprekken met deskundigen, gebruikers en producenten van procesinstallaties.
De resultaten van deze inventarisatie tonen de volgende belangrijke aspecten aan:

- De procesroute, die wordt toegepast voor het opwerken van afvalstromen die non-ferrometalen bevatten, wordt in principe gedicteerd door de prijs/kwaliteitseisen die de afzetmarkt voor afgescheiden non-ferrometalen stelt.
- Voor het afscheiden van non-ferrometalen uit materialenmengsels zijn slechts enkele technieken materiaalspecifiek. Materiaalspecifiek wil zeggen dat voor die scheiding gebruik wordt gemaakt van die fysische eigenschappen waarbij de non-ferrometalen zich onderscheiden, bijvoorbeeld elektrische geleidbaarheid. De onderzochte, te noemen toe te passen technieken zijn.
  - sterke veldmagneetscheiding
  - wervelstroomscheiding
  - elektrostatische scheiding
  - sensor gestuurde scheiding

  De meest toegepaste materiaalspecifieke non-ferro scheidingstechniek is wervelstroomscheiding: *toepassing geschiedt ten behoeve van verwijdering van non-ferro metalen uit autoschroot, huishoudelijk afval en asresten van verbrandingsinstallaties.* Sensorgestuurde technieken zijn in dit opzicht veelbelovend maar zijn slechts beperkt ontwikkeld en worden nog niet op brede schaal in de praktijk toegepast.
  Van de niet-materiaalspecifieke technieken zijn onderzocht:
  - zeven
  - windziften
  - tafeltechnieken
  - fluidbed-scheiding
  - flotatie
  - drijf/zink-scheiding
  - hydrocyclonage
  - jiggen
  - ferromagnetische scheiding

  Wat betreft deze technieken wordt scheiding voornamelijk gerealiseerd op basis van verschillen in dichtheden tussen de te scheiden materialen: *veel toegepast worden onder andere de luchttafel voor kabelrecycling en drijf/zinkinstallaties voor het scheiden van non-ferro metalenmengsels, voornamelijk afkomstig van autoshredder installaties.*
- De leveranciers bieden speciaal toepasbare apparatuur aan. Veelal zijn deze apparaten voor specifieke toepassingen ontwikkeld (bijvoorbeeld de luchttafel ten behoeve van kabelverwerking en de Eddy Current scheider ten behoeve van shredderafvalverwerking). Voor gebruik in andere toepassingen (verwerking) van andere afvalstromen) dienen de desbetreffende apparaten aangepast of opnieuw ontworpen te worden.

Hoofdconclusie

De in de praktijk verkrijgbare scheidingsapparatuur is meestal voor een specifieke toepassing ontworpen. Dit houdt niet in dat deze apparatuur in generieke zin toepasbaar is.
Het verdient aanbeveling voor de verwerking van geselecteerde, non-ferro's bevattende, afvalstromen volledige verwerkingsprocessen te ontwerpen en te ontwikkelen. In deze ontwerpen komt de importantie van specifiek geselecteerde en speciaal ontworpen scheidingsapparatuur en de daaraan gerelateerde kosten tot uiting.

Resumerend luidt de hoofdconclusie[1)]
De leverbare scheidingsapparatuur is niet zonder meer toepasbaar.
Ten behoeve van de verwerking van specifieke afvalstromen dienen meestal specifieke scheidingsapparaten (in totaalprocessen) toegepast te worden.
Deze apparaten dienen,
- *of aangepast, c.q. gemodificeerd te worden,*
- *of specifiek nieuw ontworpen te worden.*

1) De hoofdconclusie is mede gebaseerd op de resultaten van proefnemingen met door TNO aangeschafte scheidingsapparatuur.
Op basis daarvan heeft TNO de toegeleverde apparaten aangepast of in plaats daarvan nieuwe ontworpen. Ten behoeve van het nader bepalen van specifieke procesparameterinstellingen en/of geometrische afmetingen van de apparaten heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie modellen ontwikkeld.

Summary

The objective of the research project, commissioned by NOVEM (Dutch Company for Energy and Environment) and RIVM (Dutch National Institute for Public Health and Environmental Hygiene) and conducted by the Product and Production Waste Department of TNO as part of the Dutch National Research Programme into Waste Materials Re-use (NOH), is to review the internationally available recycling equipment for separating non-ferrous materials from waste streams and to evaluate the application possibilities in the Netherlands.
This survey is based on a literature search and discussions with experts in and users and manufacturers of processing plants.
The results of this survey reveal the following important aspects:

- The processing route used for recycling waste streams containing non-ferrous metals is dictated in principle by the market-driven price/quality requirements for separated non-ferrous metals.
- Only a few methods are material-specific for separating non-ferrous metals from mixed waste. Material-specific means that the separation process makes use of the physical properties that differentiate non-ferrous metals, e.g. electrical conductivity. The methods in question that have been surveyed are:
  - strong field magnet separation
  - eddy current separation
  - electrostatic separation
  - sensor-controlled separation

  The most commonly used material-specific, non-ferrous separation method is eddy-current separation: *this is used to remove non-ferrous materials from car wrecks, household waste and ash residues from incinerators.* Sensor-controlled methods are promising in this respect but have seen only limited development and are not yet in widespread practical use.
  Of the non-material-specific methods, the following have been surveyed:
  - screening
  - air separation
  - table methods
  - fluidized bed separation
  - flotation
  - sink/float separation
  - hydrocyclone
  - vibrating bed
  - ferromagnetic separation

  These separation methods mainly work on the basis of differences in density between the materials to be separated: *systems which are commonly used include air tables for cable recycling and sink/float systems for separating non-ferrous metal mixtures, particularly from autoshredders.*
- The suppliers offer application-specific equipment. These machines have often been developed for particular uses (for example, the air table for cable processing, and the eddy current separator for processing shredder waste). If these machines are to be used for other applications (processing different waste streams), they must be adapted or redesigned.

Main conclusion

Commercially available separation equipment has mostly been designed for a specific application. This means that these machines cannot be used for general purposes. It is recommended that complete processes be designed and developed to process selected waste streams containing non-ferrous metals. These designs will recognize the importance of specifically selected and specially designed separation equipment and the related costs.

The main conclusion can be summarized as follows[1]:
The available separation equipment is not always applicable.
Specific separation equipment (in integral processes) must mostly be used to process specific waste streams.
This equipment must
- *either be adapted or modified*
- *or be specifically redesigned.*

1) The main conclusion is based in part on testing with separation equipment purchased by TNO. Based on this, TNO adapted or redesigned the equipment supplied. TNO Environment, Energy and Process Innovation developed models to define more closely specific process parameter settings and/or geometric dimensions of the equipment.

Uitgebreide samenvatting

Probleemstelling

Door toename van het aantal toegepaste materialen en de introductie van nieuwe materialen en legeringen in consumentenprodukten en kapitaalgoederen worden afvallen qua materiaalsamenstelling steeds complexer. Voor het terugwinnen van materialen uit deze afvallen worden steeds meer geavanceerde technieken toegepast. Dit geldt met name voor het terugwinnen van non-ferrometalen uit afvallen, aangezien deze relatief een hoge waarde vertegenwoordigen.

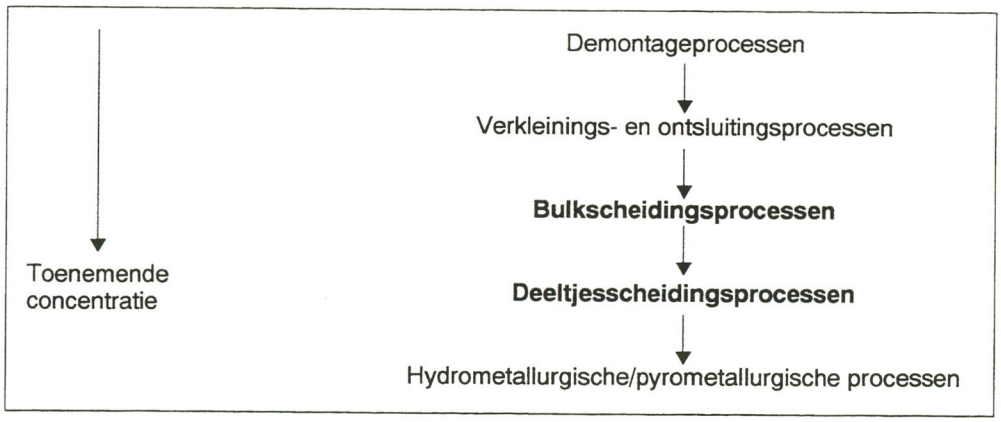
De huidige verwerking van afvalfracties met non-ferro's geeft mengsels metalen, of legeringen, met een bepaalde verontreinigingsgraad. Men kan stellen, dat relatief arme, laagwaardige concentraten worden afgescheiden. Bij aanbod in de markt wordt een lage prijs bedongen; er treedt relatief veel verlies aan metalen in slakken op bij secundaire smelt en biedt de afgassenproblematiek van de smelters relatief veel zorgen, vanwege de verschillende stoffen erin. Daarom wordt verdergaand concentreren en zuiveren van specifieke metalen als zeer wezenlijk beschouwd. Dit geldt niet alleen voor de verschillende non-ferro's onderling, maar ook voor de verschillende legeringen.

Doel

Het doel van het onderzoek dat TNO, afdeling Produkt- en ProduktieAfval, in opdracht van NOVEM en RIVM, in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) heeft uitgevoerd is, het inventariseren van de internationaal leverbare recyclingapparatuur voor de afscheiding van non-ferrometalen uit afvalstromen en het beoordelen van de toepassingsmogelijkheden in Nederland.

De toepassing van scheidingstechnieken is erop gericht rijke, zuivere concentraten af te scheiden.

Daarbij is de volgende procesketen te onderkennen:



Aangezien er verbanden bestaan, dienen de bewuste processen gekoppeld bezien te worden.

Voor het verkrijgen van rijke concentraten zijn met name de ***bulkscheidingstechnieken*** en de ***deeltjesscheidingstechnieken*** van belang.

Beschrijving onderzoek

Deze inventarisatie is gebaseerd op literatuuronderzoek en op gesprekken met deskundigen, gebruikers en producenten van procesinstallaties.
Het onderzoek gaat in op de noodzaak van het voorbehandelen van de te scheiden materialenmengsels. Daarnaast worden de principes van de hiervoor toepasbare scheidingstechnieken beschreven en worden gegevens over het toepassingsgebied en de leveranciers van scheidingsapparaten vermeld. Tenslotte worden de voor- en nadelen van de in het rapport beschreven non-ferro scheidingstechnieken behandeld en wordt aangegeven op welk gebied ontwikkelingen wenselijk of te verwachten zijn.

In dit rapport zijn met name de huidige leverbare bulkscheidings- en deeltjesscheidingsapparaten beschreven. Daarnaast zijn er belangrijke ontwikkelingen gegeven.

Benadrukt dient te worden, dat het een meer generieke beschrijving betreft. Het specifieke ontwerp van de scheidingsapparaten is afhankelijk van de hoedanigheid van de te verwerken afvalstroom (of afvalstromen), zoals samenstelling, deeltjesgrootte, deeltjesgrootteverdeling, vormen van de deeltjes, en de aard en de werking van de voor- en nageschakelde apparatuur.

Huidig aanbod apparatuur

De resultaten van deze inventarisatie tonen de volgende belangrijke aspecten aan:
- De procesroute, die wordt toegepast voor het opwerken van afvalstromen die non-ferrometalen bevatten, wordt in principe gedicteerd door de prijs/kwaliteitseisen die de afzetmarkt voor afgescheiden non-ferrometalen stelt. Op basis van deze eisen worden keuzes gemaakt voor de verwerkingsroutes van non-ferrometalen bevattende afvalstromen.
- Voor het afscheiden van non-ferrometalen uit materialenmengsels zijn slechts enkele technieken materiaalspecifiek. Materiaalspecifiek wil zeggen dat voor die scheiding gebruik wordt gemaakt van die fysische eigenschappen waarbij de non-ferrometalen zich onderscheiden, bijvoorbeeld elektrische geleidbaarheid. De onderzochte, te noemen toe te passen technieken zijn.
  - sterke veldmagneetscheiding
  - wervelstroomscheiding
  - elektrostatische scheiding
  - sensor gestuurde scheiding

  De meest toegepaste materiaalspecifieke non-ferro scheidingstechniek is wervelstroomscheiding: *toepassing geschiedt ten behoeve van verwijdering van non-ferro metalen uit autoschroot, huishoudelijk afval en asresten van verbrandingsinstallaties.*
  Sensorgestuurde technieken zijn in dit opzicht veelbelovend maar zijn slechts beperkt ontwikkeld en worden nog niet op brede schaal in de praktijk toegepast.
  Van de niet-materiaalspecifieke technieken zijn onderzocht:
  - zeven
  - windziften
  - tafeltechnieken
  - fluidbed-scheiding
  - flotatie

- drijf/zink-scheiding
- hydrocyclonage
- jiggen
- ferromagnetische scheiding

Wat betreft deze technieken wordt scheiding voornamelijk gerealiseerd op basis van verschillen in dichtheden tussen de te scheiden materialen: *veel toegepast worden onder andere de luchttafel voor kabelrecycling en drijf/zinkinstallaties voor het scheiden van non-ferro metalenmengsels, voornamelijk afkomstig van autoshredder installaties.*

— De leveranciers bieden speciaal toepasbare apparatuur aan. Veelal zijn deze apparaten voor specifieke toepassingen ontwikkeld (bijvoorbeeld de luchttafel ten behoeve van kabelverwerking en de Eddy Current scheider ten behoeve van shredderafvalverwerking). Voor gebruik in andere toepassingen (verwerking van andere afvalstromen) dienen de desbetreffende apparaten aangepast of opnieuw ontworpen te worden.

Ontwikkelingen in het aanbod

Met uitzondering van de sensorgestuurde scheidingstechnieken worden alle andere non-ferro metaalscheidingstechnieken reeds geruime tijd voor de verwerking van specifieke afvalstromen toegepast. Dit geeft aan dat er nauwelijks sprake is van structureel nieuwe ontwikkelingen op dit gebied. Wel is de apparatuur, gebaseerd op deze bekende principes, qua constructie (bijvoorbeeld de keuze van magneetmaterialen van de permanente magneten), aangepast aan het huidige kennisniveau. Optimalisaties van de scheidingsapparatuur zouden de toepasbaarheid en de prestaties van de scheidingstechnieken aanzienlijk kunnen verbeteren.
Voorbeelden hiervan zijn:

— De ontwikkelingen op het gebied van de constructie van (inclusief keuze magneetmaterialen) sterke permanente magneten die van grote invloed zijn geweest op het verbreden van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders. Mogelijk kunnen verdere ontwikkelingen op dit gebied nog bijdragen aan de verdere verbreding van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders.

— Wat betreft de sensorgestuurde technieken is meestal de kwaliteit van de sensor wel voldoende. Vooral de monstervoorbereiding, het deeltje voor deeltje langs de sensor voeren en de uitvoering van de actuator krijgen in demonstratieprojecten onvoldoende aandacht. Hiermee kunnen de vaak tegenvallende prestaties van sensorgestuurde scheidingstechnieken worden verklaard. De prestaties van sensor-gestuurde scheidingstechnieken hangen af van de kwaliteit van de afzonderlijke onderdelen, de sensor, de signaalversterker en de actuator. In zo'n systeem is vooral de afstemming van deze onderdelen op elkaar van belang. Dit vormt een belangrijk ontwikkelingsgebied.

— Windzifters worden vaak als eerste grove concentratiestap in recyclingprocessen toegepast. Door introductie van apparaat- en energiegerichte optimalisaties aan de uitvoering van windzifters kunnen windzifters ook als relatief goedkoop apparaat, ten behoeve van de afscheiding van zuivere fracties, worden toegepast.

— Drijf/zink scheidingstechnieken worden, ondanks hun selectiviteit en ongevoeligheid voor variaties in deeltjesgrootte en vorm, alleen toegepast voor het scheiden van de non-ferrometalen afkomstig uit autowrakken.
Het toepassingsgebied van deze techniek kan aanzienlijk worden verbreed, indien optimalisaties aan apparatuur en vooral het medium worden gerealiseerd.

Toepassingsgebied apparatuur

In tabel 1 wordt de geschiktheid van technieken voor het scheiden van diverse materialenmengsels weergegeven. Tevens is in deze tabel aangegeven in hoeverre de technieken hiervoor op praktijkschaal worden toegepast.

Tabel 1 Geschiktheid en toepassing van technieken

Scheiden van	**Ferro/Non-ferro**		**Non-ferro/Niet geleidend (kunststoffen e.d.)**		**Non-ferro/Non-ferro**	
Scheiding gebaseerd op verschillen in	**Magnetische eigenschappen**		**Geleidbaarheid**		**Dichtheid**	
	Geschikt	**Toegepast**	**Geschikt**	**Toegepast**	**Geschikt**	**Toegepast**
Zeven	-	-	-	-	-	-
Windziften	-	-	o	+	o	-
Tafeltechnieken	-	-	o	+	o	+
Fluidbedscheiding	-	-	o	-	o	+
Flotatie	-	-	o	-	o	-
Drijf-/zinkscheiding	-	-	o	+	o	+
Hydrocyclonage	-	-	o	-	o	-
Jiggen	-	-	o	-	o	-
Ferro magnetische scheiding	+	+	-	-	-	-
Sterke veld magneetscheiding	-	-	o	+	o	+
Wervelstroomscheiding	-	-	+	+	o	+
Elektrostatische scheiding	-	-	+	+	-	-
Sensor gestuurde scheiding	o	-	+	+	o	+

Geschikt: - niet
+ wel
o mogelijk, indien de verschillen in fysische eigenschappen waarop de scheiding is gebaseerd of de verschillen in andere fysische eigenschappen voldoende groot zijn.

Toegepast: - niet
+ wel (apparatuur is leverbaar)

Voor het maken van de juiste keuze van de toe te passen scheidingstechniek moet bekend zijn op basis van welke fysische eigenschappen wordt gescheiden en welke eisen de apparatuur stelt aan de deeltjesgrootte van te scheiden mengsels. Tabel 2 geeft hiervan een overzicht.
Daarnaast bevat de tabel getallen over de capaciteiten en de apparatuurkosten (afschrijving, onderhoud en energie) verbonden aan de toepassing van de diverse technieken. Daarbij moet worden aangetekend dat het hierbij om globale cijfers gaat. Veel van deze grootheden zijn namelijk sterk apparaat- en leverancierafhankelijk. Daarnaast speelt in dat kader de specifieke toepassing, wat betreft de hoedanigheid van de te scheiden mengsels, een belangrijke rol.

Tabel 2 Overzicht technieken

Techniek	Materialen, afvalsoort	Scheiding op basis van verschillen in	Deeltjes-grootte (mm)	Capaciteit (t/h)	Kosten (*f*/t)
Zeven	huishoud-bouw/sloop-shredderafval	grootte/vorm	+0,5 mm	1-100	1-2
Windziften	huishoud metaal/kunststof shredder	dichtheid grootte/vorm	0,1-10 mm	1-50	2-20
Tafel-technieken	shredder metaal/kunststof	dichtheid grootte/vorm	1-10 mm droog 0,1-5 mm nat	0,5-2	10-20
Fluidbed-scheiding	metaal/kunststof	dichtheid	0,3-10 mm	0,5-2	10-20
Flotatie	mineraal kunststof	dichtheid	0,1-50 mm	1-100	15-20
Drijf/zink-scheiding	non-ferro's kunststof	dichtheid	3-100 mm	1-100	10-15*)
Hydro cyclonage	kunststof klei/zand	dichtheid	0,01-10 mm	1-25	2-5
Jiggen	mineraal	dichtheid	1-50 mm	1-100	15-20
Ferro Magnetische scheiding	ferro's	magnetische ei-genschappen	+0,2 mm	1-20	1-2
Sterke veld magneet-scheiding	non-ferro/kunst-stof	zwak magnetisch eigenschappen	+0,2 mm	0,5-2	3-5
Wervelstroom-scheiding	non-ferro	geleidbaarheid dichtheid	2-100 mm	0,5-10	5-30
Electro statische-scheiding	metaal/kunststof	geleidbaarheid	0,1-5 mm	0,5-2	25 -50
Sensor gestuurde scheiding	non-ferro kunststof glas	optisch-electrisch-inductie-eigenschappen	5-100 mm	0,5-2	30-80

*) kosten/ton inclusief verbruik van suspensiemateriaal

Kosten

De via scheidingstechnieken teruggewonnen non-ferrometalen hebben afhankelijk van de soort en de marktsituatie een waarde die kan oplopen tot enkele duizenden guldens per ton. In dat kader bezien zijn de kosten/ton voor de scheidingtechnieken (*exclusief personeelskosten, zie § 5.1*) relatief gering.
De kosten/ton van de materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen *f* 5-80,-/ton. Wervelstroomscheiding is van de praktisch toegepaste technieken de goedkoopste met een kostprijs van *f* 5 -30,- /ton. De kostprijs van sensorgestuurde scheidingstechnieken is vanwege het exclusieve karakter nog relatief hoog en bedraagt circa *f* 30-80,-/ton.

Van de niet-materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen de kosten/ton *f* 2-20,-. Dit is dus aanzienlijk lager dan de kosten/ton voor de materiaalspecifieke scheidingstechnieken. Vanuit kostenoverweging is het daarom aan te bevelen, om voor het afscheiden/scheiden van non-ferrometalen, in eerste instantie de niet specifieke technieken toe te passen alvorens de specifieke technieken worden ingezet. In de praktijk echter komen ook omgekeerde techniekvolgorden voor. Met name de combinatie wervelstroomscheiding gevolgd door drijf/zinkscheiding wordt algemeen toegepast bij de verwerking van autowrakken.

Hoofdconclusie

De in de praktijk verkrijgbare scheidingsapparatuur is meestal voor een specifieke toepassing ontworpen (bijvoorbeeld de scheiding van koper en kunststof, afkomstig van kabels met een speciaal daarvoor ontworpen luchttafel). Dit houdt niet in dat deze apparatuur in generieke zin toepasbaar is (bijvoorbeeld voor de scheiding van non-ferro's en kunststoffen). Meestal dienen toegeleverde apparaten ten behoeve van de scheiding van speciaal geselecteerde mengsels aangepast te worden.
Ten behoeve van de scheiding van **specifieke** afvalstromen, dient telkens een toegespitst ontwerp van een **specifiek** scheidingsapparaat gemaakt te worden. Dit toegespitste ontwerp hangt vooral samen met de voor- en nageschakelde apparatuur in het totale verwerkingsproces.

Resumerend luidt de hoofdconclusie[1)]
De leverbare scheidingsapparatuur is niet zonder meer toepasbaar.
Ten behoeve van de verwerking van specifieke afvalstromen dienen meestal specifieke scheidingsapparaten (in totaalprocessen) toegepast te worden.
Deze apparaten dienen,
- *of aangepast, c.q. gemodificeerd te worden,*
- *of specifiek nieuw ontworpen te worden.*

Aanbeveling

Zoals reeds eerder verwoord, is in het onderhavige rapport een meer generieke beschrijving van de internationaal leverbare apparatuur gegeven. Specifieke ontwerpen zijn afhankelijk van de selectie van de te verwerken afvalstroom (of -stromen) en de aard en de werking van de voor- en nageschakelde apparatuur.
Het verdient aanbeveling voor de verwerking van geselecteerde, non-ferro's bevattende, afvalstromen volledige verwerkingsprocessen te ontwerpen en te ontwikkelen. In deze ontwerpen komt de importantie van specifiek geselecteerde en speciaal ontworpen scheidingsapparatuur en de daaraan gerelateerde kosten tot uiting. Het is **dan** ook mogelijk de kostenrelatie gedetailleerder aan te geven.

1) De hoofdconclusie is mede gebaseerd op de resultaten van proefnemingen met door TNO aangeschafte scheidingsapparatuur.
Op basis daarvan heeft TNO de toegeleverde apparaten aangepast of in plaats daarvan nieuwe ontworpen. Ten behoeve van het nader bepalen van specifieke procesparameterinstellingen en/of geometrische afmetingen van de apparaten heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie modellen ontwikkeld.

Inhoudsopgave

Colofon 2

Samenvatting 3

Summary 5

Uitgebreide samenvatting 7

1 **Inleiding** 15

2 **Mengsels FNFKC's en NFKC's** 16

3 **Scheiden materialenmengsels** 19
3.1 Voorbehandeling 19
3.2 Scheiden naar materiaalklasse 20
3.3 Scheiden binnen materiaalklasse 20

4 **Beschrijving technieken** 22
4.1 Algemeen 22
4.2 Droog mechanische technieken 23
4.2.1 Zeven 23
4.2.2 Windziften 23
4.2.3 Tafeltechnieken 24
4.2.4 Fluïdbedscheiding 26
4.3 Nat mechanische technieken 27
4.3.1 Flotatie 27
4.3.2 Drijf/zinktechnieken 27
4.3.3 Hydrocyclonage 28
4.3.4 Jiggen 29
4.3.5 Tafeltechnieken 29
4.4 Electromagnetische technieken 31
4.4.1 Ferromagnetische technieken 31
4.4.2 Sterke veld magneettechnieken 31
4.4.3 Wervelstroom (Eddy Current) technieken 31
4.4.4 Electrostatische technieken 32
4.5 Sensorgestuurde scheidingstechnieken 34

5 **Toepassingsgebied en leveranciers** 36
5.1 Toepassingsgebied 36
5.2 Leveranciers 38

6 **Voordelen, nadelen en ontwikkelingen van non-ferro scheidingstechnieken** 39
6.1 Specifieke non-ferro scheidingstechnieken 39
6.1.1 Sterke veld magneetscheiding 39
6.1.2 Wervelstroomtechnieken 40
6.1.3 Electrostatische technieken 40
6.1.4 Sensorgestuurde scheidingstechnieken 41

6.2 Niet specifieke non-ferro scheidingstechnieken 42
6.2.1 Windziften 42
6.2.2 Tafeltechnieken 43
6.2.3 Drijf/zinkscheiding 43

7 Evaluatie en hoofdconclusies 45
7.1 Evaluatie 45
7.2 Hoofdconclusie 47

8 Literatuur 48

9 Verantwoording 53

Bijlage 1 Brochures van leveranciers

1 Inleiding

Continu plaatsvindende materialensubstituties en de introductie en toepassing van 'nieuwe' materialen heeft mede tot gevolg, dat op termijn de afvalsamenstelling complexer wordt. Dit wordt versterkt door een toename in de diversiteit van toegepaste materialen, geconsumeerde produkten en kapitaalgoederen. Op de grondstoffenmarkt heerst een toenemende concurrentie tussen ferro, non-ferro's, kunststoffen, nieuwe materialen (zoals composieten, supersterke vezels) etc. Haaks daarop staat, dat de potentiële afnemers van secundaire grondstoffen uit afvallen, steeds hogere kwaliteitseisen stellen.
Het bovenstaande houdt in, dat de recuperatie steeds verdergaand sorteert en nieuwe, steeds meer geavanceerde scheidingstechnieken in de recyclingbranche toevoegt. De behoefte aan technologische innovatie wordt eveneens in de non-ferro branche voortdurend onderkend.
Gezien de vele toegepaste non-ferro's en het sterk verspreide gebruik ervan is de ontwikkeling en implementatie van vele scheidingstechnische concepten een realiteit. Dit wordt gestimuleerd door de relatief gezien hoge opbrengsten van belangrijke non-ferro's.
In dit kader wordt een indeling van toe te passen scheidingstechnieken en installaties op basis van een internationaal brede inventarisatie als een belangrijke uitbreiding van de informatiebehoefte gekenschetst.

TNO, afdeling Produkt- en ProduktieAfval, heeft in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) de onderhavige inventarisatie uitgevoerd. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Nederlandse Onderneming voor Energie en Milieu (NOVEM) en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM).

De inventarisatie en indeling van toe te passen scheidingsapparatuur houdt in, dat van de betreffende apparatuur het toepassingsgebied, aard en werkingsprincipe van de techniek, het ontwikkelingsstadium en het kostenniveau in beeld gebracht wordt. De studie is gebaseerd op literatuuronderzoek, op gesprekken met deskundigen en bedrijven met praktische ervaringen, op indrukken en kennisvermeerdering als gevolg van bezoeken aan producenten van procesinstallaties en op apparatuur gebaseerde beurzen.

De resultaten van het onderzoek zijn in eerste instantie bestemd voor leden van de branche 'Vereniging Herwinning Non-ferro Metalen', met andere woorden van de non-ferro recycling industrie in Nederland.

In hoofdstuk 2 is het probleemgebied geschetst. Daarop volgend is in hoofdstuk 3 aangegeven welke niveaus met betrekking tot scheiden te onderkennen zijn. Het betreft achtereenvolgens het ontsluiten, het vrijmaken van materialen, het scheiden van materialen naar materiaalklassen en het scheiden van materialen binnen de materiaalklasse.
De algemene beschrijving van technieken is in hoofdstuk 4 gegeven. In hoofdstuk 5 zijn de toepassingsgebieden beschreven en de leveranciers genoemd. Daarop volgend zijn in hoofdstuk 6 de voor- en nadelen van specifieke technieken gegeven en zijn in het onderhavige hoofdstuk de ontwikkelingen beschreven. Tenslotte volgen evaluatie en conclusies in hoofdstuk 7.

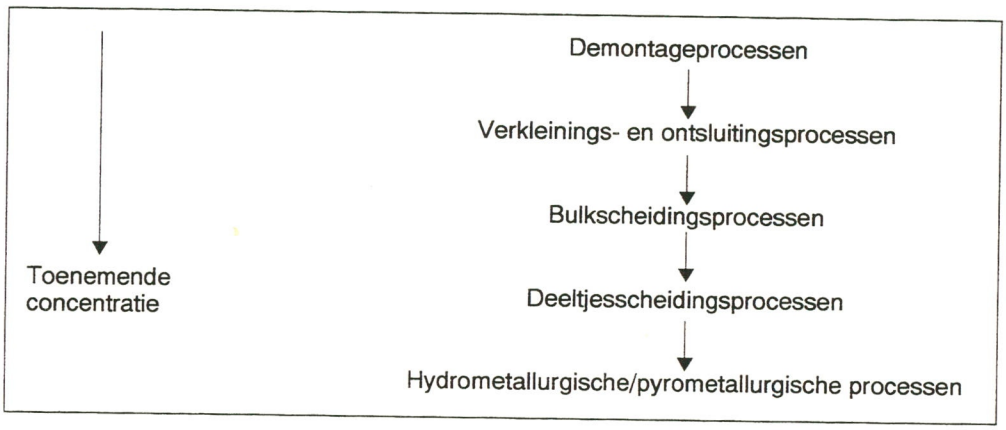
2 Mengsels FNFKC's en NFKC's

Zoals in hoofdstuk 1 aangegeven, wordt de recycling bemoeilijkt door een toename van het aantal onderdelen, materialen en verbindingstechnieken in afgedankte, te verwerken goederen (consumptie- en kapitaalgoederen).
Materialencombinaties, zoals laminaten en verbindingstechnieken, zoals lassen, lijmen en solderen bevorderen niet de metaalrecycling.
De toename in complexiteit wordt onder andere gekarakteriseerd door een toename in het aantal toegepaste legeringen.
De verwerking van afgedankte consumptie- en kapitaalgoederen geeft veelal mengsels van metalen en kunststoffen.
Men spreekt ook wel van FNFKC's (Ferro/Non-Ferro/Kunststof-Combinaties) en NFKC's (Non-Ferro/Kunststof-Combinaties).
Deze combinaties worden onder andere teruggevonden in de produktafvallen autowrakken, koelkasten, wasmachines, PC's, grondkabels, telefoonkabels, verpakkingsmaterialen en sandwichpanelen.
In het branchedocument metaalrecuperatie wordt het afval verdeeld in bewerkingsafval en bedrijfsafvallen, vrijkomende afvallen op het bedrijfsterrein van de metaalrecuperant. Bewerkingsafvallen zijn onder andere papier/karton, hout, glas, kunststoffen en rubbers.
Bedrijfsafval is onder andere shredderafval, een afvalstroom van circa 140.000 ton per jaar, bestaande uit onder andere kunststoffen, rubbers, glas, textiel en hout.
In dit branchedocument wordt eveneens het probleem van de verwerking van NFKC's aangevoerd.

De huidige verwerking van de hiervoor genoemde produktafvallen geeft mengsels metalen, of legeringen met een bepaalde verontreinigingsgraad. Men kan stellen, dat relatief arme, laagwaardige concentraten worden afgescheiden. Bij aanbod in de markt wordt een lage prijs bedongen; er treedt relatief veel verlies aan metalen in slakken op bij secundaire smelt en biedt de afgassenproblematiek van de smelters relatief veel zorgen, vanwege de verschillende stoffen erin. Daarom wordt verdergaand concentreren en zuiveren van specifieke metalen als zeer wezenlijk beschouwd. Dit geldt niet alleen voor de verschillende non-ferro's onderling, maar ook voor de verschillende legeringen, zoals:
- de verscheidene roestvrijstaal legeringen,
- kneedaluminium versus gietaluminium,
- de verscheidene zink legeringen.

De recycling, de toepassing van scheidingstechnieken, is erop gericht hoogwaardige concentraten af te scheiden. Hoogwaardig houdt in principe de afscheiding van rijke, zuivere concentraten in.

Daarbij is de volgende procesketen te onderkennen:



Aangezien er verbanden bestaan, dienen de bewuste processen gekoppeld bezien te worden.
Voor het verkrijgen van rijke concentraten zijn met name de bulkscheidingstechnieken en de deeltjesscheidingstechnieken van belang.

Daarbij geldt het volgende:
- afscheiding van non-ferro's en ferro's van de overige materiaalklassen (bulkscheidingstechnieken),
- scheiding van non-ferro's onderling binnen de materiaalklasse en de magnetische van de niet-magnetische ferro's (bulkscheidingstechnieken/deeltjesscheidingstechnieken),
- scheiding van de verschillende legeringen onderling, indien een concentraat van een specifiek metaal verkregen is (bulkscheidingstechnieken/deeltjesscheidingstechnieken).

Om vermelde scheidingen te kunnen realiseren, verdienen kennisvermeerdering en informatie-overdracht over bulkscheidingstechnieken en deeltjesscheidingstechnieken aandacht.
Uitgangspunt daarbij vormt kennis over de verschillen in fysische en chemische eigenschappen van de diverse materialen, de materiaaleigenschappen.
Deze inherente eigenschappen zijn als voorbeeld voor de vijf materiaalklassen (metalen, kunststoffen, rubbers, minerale materialen en organische materialen) in onderstaande tabel gegeven.

Tabel 3 Materiaalklassen

Materiaalklasse / Eigenschappen	Metalen	Kunst-stoffen	Rubbers	Minerale materialen	Organische materialen
hardheid	zeer hoog	laag	zeer laag	hoog	zeer laag
elasticiteit	laag	hoog	zeer hoog	zeer laag	divers
ductiliteit	medium	hoog	zeer hoog	zeer laag	divers
hittebestendigheid	hoog	laag	zeer laag	zeer hoog	laag
glans	hoog	medium	laag	zeer laag	laag
kristallijn/amorf	kristallijn	veelal amorf	amorf	vrijwel amorf	amorf
geleidbaarheid	zeer hoog	laag	laag	laag	laag
magnetische eigenschappen	divers	laag	laag	laag	laag
lichtdoorlatend	geen	divers	divers	geen	divers
smeltpunt	hoog	laag	laag	nvt	nvt
aantal elementen	1 hoofdelem.	2 of meer	3 of meer	2 of meer	vele
homogeniteit	hoog	divers	divers	divers	divers
veroudering	vrijwel niet	divers	hoog	laag	divers
dichtheid	hoog	laag	laag	medium	laag

Naast de materiaaleigenschappen zijn de deeltjeseigenschappen (onder andere grootte, vorm en oppervlakteruwheid) van belang als men materialen mengsels beschouwt.

Dus résumerend als men de afscheiding van rijke, zuivere concentraten nastreeft, zijn de volgende aspecten van wezenlijke aard:

a. voldoende ontsluiting, vrijmaken van materialen in een te verwerken afvallenfractie,
b. voldoende onderkenning van verschillen in materiaaleigenschappen respectievelijk deeltjeseigenschappen.

3 Scheiden materialenmengsels

3.1 Voorbehandeling

Voordat er te scheiden materialenmengsels verkregen zijn, moeten afvallen veelal worden voorbehandeld. Het doel van deze processtappen is het volledig vrijmaken, het volledig ontsluiten van de samenstellende materialen. Het betreft ontmantelings- en verkleiningsprocessen.

— *Ontmanteling.*
Ontmantelingsprocessen worden ingezet bij de verwerking van complex samengestelde produkten. Dit zijn produkten, samengesteld uit onderdelen, die met verschillende verbindingstechnieken geïntegreerd het geheel vormen. De ontmanteling is gericht op het verkrijgen van specifieke onderdelengroepen. Daarbij is het hoofddoel het concentreren van bepaalde afzetbare onderdelen of materialen en potentieel milieubelastende materialen.
De ontmanteling van complexe produkten is meestal, gezien het handmatige karakter, een relatief kostbare processtap. Daarom zal altijd getracht worden de inspanningen ten behoeve van de ontmanteling te verlagen. Het is daarom zinvol na te gaan in hoeverre de verschillende ontmantelingsstappen bijdragen aan het hoofddoel 'concentreren van materialen'. Om dit te kunnen bepalen is het noodzakelijk dat de onderdeel- en materiaalsamenstelling van het te recyclen produkt nauwkeurig wordt vastgesteld.

— *Verkleining.*
Het verkleinen van onderdelen heeft als doelen:
a. Het, voor vervolgprocesstappen zoals scheiden, op de gewenste stukgrootte brengen van de onderdelenfracties.
b. Het ontsluiten van de materialen uit de onderdelen.
Vaak zijn meerdere verkleinstappen noodzakelijk om de voor een bepaalde scheidingstechniek gewenste optimale deeltjesgrootte en deeltjesvorm te realiseren.
Voor het verkleinen van onderdelen en het ontsluiten van materialen uit de onderdelen is een groot scala aan apparatuur op de markt beschikbaar. Daarbij worden meestal de volgende principes toegepast:
- Verkleinen door slag/bots werking.
Apparaten werkend volgens dit principe zijn bijvoorbeeld hamermolens/ shredders.
Deze molens zijn opgebouwd uit een sneldraaiende (> 500 r.p.m.) rotor waarop beweegbare hamers en/of slaglijsten zijn gemonteerd. Door de hoge omtreksnelheid van deze hamers worden materialen stukgeslagen en ook gedeeltelijk door botsing met de molenwand en de slaglijst verkleind. Deze molens komen in diverse formaten voor. De grootste uitvoering hiervan wordt toegepast voor het verkleinen van autowrakken.

- Verkleinen door snijwerking.
  Apparaten werkend volgens dit principe zijn granulatoren/messenmolens. Het principe van deze molens is dat de materialen worden geknipt tussen beweegbare messenparen. De messen worden aangebracht op de rotor (dynamische messen) en/of in het maalhuis (statische messen). Molens met één tot maximaal vier rotoren komen voor.
  De messenmolens met één rotor, meestal granulatoren genoemd, hebben een rotortoerental van > 500 r.p.m. In dat geval bevinden zich de dynamische messen op de rotor en zijn de statische messen in het maalhuis gemonteerd. Dergelijke granulatoren zijn gevoelig voor beschadiging en slijtage van de messen en worden in principe toegepast voor het vermalen van relatief zachte produkten zoals papier en kunststof. Ook de zachtere metalen, zoals koper en aluminium, kunnen met deze granulatoren succesvol worden verkleind. Meestal bevindt zich onder in het maalhuis een zeefconstructie waardoor de maximale stukgrootte van het maalgoed wordt bepaald. De minimale deeltjesgrootte die met deze granulatoren kan worden gerealiseerd ligt op circa 1 mm.
  De messenmolens met meer dan één rotor, vaak ook als shredders aangeduid, hebben een rotortoerental van < 100 r.p.m. Op de tegen elkaar indraaiende rotoren zijn messenschijven gemonteerd, waartussen de materialen worden gesneden. Deze messenmolens zijn met name vanwege hun geringe toerental minder gevoelig voor beschadiging en slijtage van de messenschijven. Ze worden toegepast voor verkleinen van zowel volumineuze zachte produkten als voor het verkleinen van dunwandige metalen voorwerpen. Een belangrijk toepassingsgebied is bijvoorbeeld huishoudelijk afval en groente-, fruit- en tuinafval. Ook bij deze molens kan onder in het maalhuis een rooster worden geplaatst waardoor de maximale stukgrootte van het maalgoed wordt bepaald. De minimale deeltjesgrootte die met deze meerassige messenmolens kan worden gerealiseerd ligt op circa 15 mm.

3.2 Scheiden naar materiaalklasse

Hieronder wordt verstaan het scheiden van een materiaalmengsel in ferro metalen, non-ferro metalen, kunststoffen, glas etc. Voor deze scheiding maakt men veelal gebruik van verschillen, tussen de materiaalklassen, in dichtheid en electromagnetische eigenschappen. Vanwege de meestal grote verschillen, tussen de fysische eigenschappen van materiaalklassen, is scheiding goed uitvoerbaar en wordt op grote schaal in de praktijk toegepast.

3.3 Scheiden binnen materiaalklasse

Hieronder wordt verstaan het scheiden van een materiaalklasse (bijvoorbeeld non-ferro metalen) in de afzonderlijke materialen zoals koper, aluminium, lood etc. Ook hier maakt men voor de scheiding veelal gebruik van verschillen in dichtheid en electro/magnetische eigenschappen. Echter vanwege de vaak geringe verschillen, tussen de fysische eigenschappen, is scheiding minder goed uitvoerbaar. Dit ook met name vanwege het feit dat de bestaande scheidingsapparatuur niet goed werkt bij klei-

ne verschillen in fysische eigenschappen. Technisch gezien liggen hier de kansen voor het verder ontwikkelen van herkennings- en scheidingstechnieken.
Nog moeilijker is het scheiden van legeringen van metalen. Hiervoor is momenteel naast visuele herkenning nauwelijks geautomatiseerde scheidingsapparatuur beschikbaar.
In hoofstuk 5.1 zal voor de diverse technieken worden aangegeven voor welke scheiding van mengsels ze kunnen worden toegepast.

4 Beschrijving technieken

4.1 Algemeen

Voor het afscheiden/scheiden van non-ferro's uit mengsels maakt men gebruik van verschillen in fysische eigenschappen waardoor materialenmengsels te splitsen zijn in deelstromen.
In principe komen alle fysisch/mechanische eigenschappen van materialen in aanmerking om scheiding tussen materialen te realiseren. De meest toegepaste scheidingstechnieken zijn echter gebaseerd op verschillen in de waarden van enkele fysische materiaaleigenschappen en deeltjeseigenschappen zoals vorm, dichtheid, magnetische, elektrische en optische eigenschappen.
Met behulp van deze scheidingstechnieken worden in het algemeen materialen niet voor 100% van elkaar gescheiden. Veelal past men deze technieken toe om materialen te concentreren. De uiteindelijke te bereiken zuiverheid van de afgescheiden materialen wordt enerzijds bepaald door de materiaaleigenschappen en uitvoering van de scheidingsapparatuur. Anderzijds is vooral de voorbewerking (ontsluiten en verkleinen) van de te scheiden materialen bepalend voor de prestaties van de scheidingsapparatuur.
De prijs/kwaliteit verhouding die de potentiële afzetmarkt voor afgescheiden materialen stelt, bepaalt voor een belangrijk deel de toepasbare combinaties van voorbewerkings- en scheidingstechnieken.

Hierna worden 4 groepen van voorbewerkings- en scheidingstechnieken beschreven:
1. droogmechanische technieken (zie § 4.2)
2. natmechanische technieken (zie § 4.3)
3. electromagnetische technieken (zie § 4.4)
4. sensorgestuurde scheidingstechnieken (zie § 4.5).

Het betreft technieken die toegepast worden in het opwerkingstraject om direct afzetbare concentraten voor de basismetaalindustrie af te scheiden. In deze industrie worden met name pyro- en/of hydrometallurgie processen toegepast.

4.2 Droog mechanische technieken

4.2.1 Zeven

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes naar grootte en/of vorm.
Materialenmengsels worden hiertoe op een zeefoppervlak gedoseerd. Dit zeefoppervlak is voorzien van openingen. Deze openingen kunnen qua vorm en afmetingen variëren. Voor het passeren van deeltjes door de zeefopeningen moeten de deeltjes ten opzichte van het zeefoppervlak bewegen. Dit wordt gerealiseerd door het bewegen van het zeefoppervlak (trilzeef, schudzeef) of het onder een hoek opstellen van het zeefoppervlak (trommelzeef) waardoor de materialen onder invloed van de zwaartekracht over het zeefoppervlak bewegen.



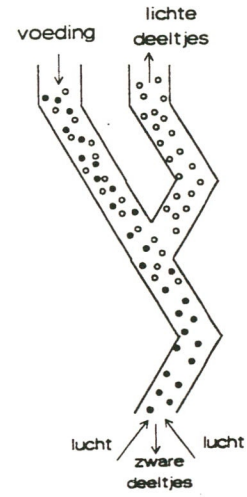
Figuur 1 Schematische weergave van zeven

Zeven is bij uitstek een methode om selectief deeltjes van een bepaalde grootte of vorm af te scheiden. De zuiverheid van de afgescheiden materialen wordt vooral bepaald door het verschil in deeltjesgrootte en/of vorm tussen de te scheiden materialen. Goed gedefinieerde verschillen in deeltjesgrootte en/of vorm tussen te scheiden materialen kunnen mogelijk via selectieve verkleining worden gerealiseerd. Meestal blijkt dit in de praktijk maar zeer zelden uitvoerbaar.
Het scheiden van materialenmengsels via zeven in verschillende deeltjesgrootten wordt echter zeer vaak toegepast als voorbewerking voor scheidingstechnieken die gebaseerd zijn op verschillen in dichtheid en electro/magnetische eigenschappen van de te scheiden materialen. Uniforme voeding en deeltjesgrootte hebben bij deze technieken een belangrijke invloed op het scheidend vermogen.

4.2.2 Windziften

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid, vorm en grootte.
Windziften is een techniek waarbij deeltjes worden gescheiden op hun valgedrag in een luchtstroom. 'Lichte' deeltjes met een relatief groot oppervlak worden eerder met de luchtstroming meegenomen dan 'zware' deeltjes met een relatief klein oppervlak. Bij alle uitvoeringsvormen van windzifters worden de te scheiden materialenmengsels in een regelbare luchtstroom gebracht. Deze luchtstroom is dwars of tegengericht aan de materiaalstroom; ook combinaties van dwars- en tegenstroom komen voor. Afhankelijk van de materiaaleigenschappen worden materialen wel of niet door de luchtstroom meegevoerd. De met de luchtstroom meegevoerde lichte fractie moet vervolgens nog wel van de lucht worden gescheiden. Hiervoor worden meestal cyclo-

nen of filterinstallaties toegepast. Op deze manier ontstaan verschillende materiaalfracties.
Er zijn vele uitvoeringsvormen van windzifters. Apparaten met rechthoekige, ronde en zigzagvormige kanalen komen voor. Daarnaast kunnen kanalen roterend worden uitgevoerd. Een veel toegepaste windzifter is de zigzagzifter. Voordeel van deze zifter is dat materialen meerdere malen in één apparaat aan het ziftproces worden onderworpen.



Figuur 2 Schematische weergave van zigzag zifter

Belangrijke invloed op het scheidend vermogen en rendement van windzifters hebben:
- deeltjesgrootte,
- deeltjesgrootteverdeling,
- dichtheidsverschil van de te scheiden materialen,
- verhouding vaste stof/lucht en luchtsnelheid.

Optimalisatie van windzifters wordt vaak proefondervindelijk uitgevoerd.
Windzifters worden onder andere toegepast voor het scheiden van fracties uit huishoudelijk afval, shredderafval, kunststof/metaalafval en bouw- en sloopafval.
Vaak worden windzifters toegepast als eerste grove scheidingsstap. Verdere concentratie van materialen wordt vervolgens met bijvoorbeeld tafel- en/of magneto/elektrische technieken uitgevoerd.

4.2.3 Tafeltechnieken

Het principe hiervan berust voornamelijk op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. Afhankelijk van de tafeluitvoering spelen ook vorm en grootte hierbij een rol.

De tafeltechnieken kunnen worden ingedeeld in de volgende hoofdklassen:

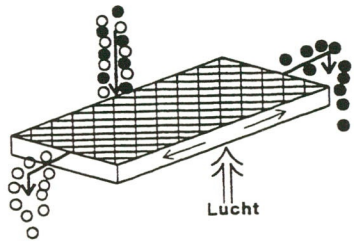
a. *Scheiden in een pulserende opwaartse luchtstroom (droge jig).*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in bewegingssnelheid tussen lichte en zware deeltjes als gevolg van de zwaartekracht.
Door middel van een pulserende luchtstroom worden de te scheiden materialen periodiek opgeschud. De zwaarste deeltjes gaan hierbij het snelst weer naar beneden. Eventueel kan een extra medium (glazen kogels en dergelijke) worden toegepast. Hierdoor worden de door de deeltjes af te leggen afstanden en het relatieve snelheidsverschil tussen de materialen vergroot.

b. *Scheiden op een uniform bewegend ruw oppervlak.*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in dichtheid en oppervlakte ruwheid tussen deeltjes. Op een langzaamlopende schuin opgestelde band worden deeltjes gedoseerd. Afhankelijk van de dichtheid en wrijving zullen deeltjes wel of niet door de band, tegen de zwaartekracht in worden meegenomen.

c. *Scheiden op een vibrerend ruw oppervlak.*
Principe hiervan is gelijk aan b. Hier echter worden deeltjes op een schuin opgesteld, in één richting vibrerend, oppervlak gebracht. Afhankelijk van de dichtheid en wrijving zullen deeltjes wel of niet in de vibratierichting worden verplaatst. Vaak worden meerdere units na elkaar geplaatst.

d. *Scheiden op een luchtdoorlatend schuin opgesteld oppervlak.*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in dichtheid tussen deeltjes. Vorm en grootte van de deeltjes hebben wel een grote invloed op de prestaties van deze techniek.
Wordt een mengsel van materialen op een doorlatende oppervlak gebracht waardoor lucht wordt geblazen, dan zullen deeltjes afhankelijk van hun dichtheid zweven of niet van het tafeloppervlak los komen. De deeltjes die op het tafeloppervlak blijven, zullen zich als gevolg van de zwaartekracht in een richting bewegen, die wordt bepaald door de helling waaronder het oppervlak is opgesteld. Ook de zwevende deeltjes, die zich min of meer als een vloeistof gedragen, zullen zich in dezelfde richting verplaatsen. Door het aanbrengen van een separatiebalk zijn de op het tafeloppervlak blijvende en zwevende materiaalfracties van elkaar te scheiden.

e. *Scheiden op een luchtdoorlatend, schuin opgesteld en vibrerend oppervlak.*
Het principe hiervan is gebaseerd op het verschil in dichtheid tussen deeltjes. Vorm en grootte van de deeltjes hebben wel een grote invloed op de prestaties van deze techniek.
Wordt een mengsel van materialen op een doorlatende oppervlak gebracht, waardoor lucht wordt geblazen, dan zullen deeltjes afhankelijk van hun dichtheid zweven of niet van het tafeloppervlak los komen. De deeltjes die op het oppervlak blijven, zullen als gevolg van de trilbeweging, die tegengesteld gericht is aan de op de deeltjes werkende zwaartekracht, zich bij een juiste instelling van de apparatuur bewegen in de richting van de trilbeweging. De deeltjes die zweven zullen zich echter bewegen in de richting van de zwaartekracht. Zware en lichte deeltjes verplaatsen zich dus in tegengestelde richtingen waardoor scheiding wordt gerealiseerd.
Men heeft verschillende uitvoeringen van dit apparaat. Er zijn tafels die alleen in de lengterichting schuin kunnen worden versteld, maar ook uitvoeringen waarbij de tafel zowel in de lengte- als in de dwarsrichting kan worden versteld.
Bij tafels die alleen in de lengterichting kunnen worden versteld, bewegen lichte en zware deeltjes zich in tegengestelde lengterichting. Hierbij ontstaan dus twee materialenfracties die aan de twee uiteinden van de tafel worden afgetapt.

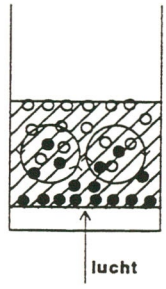


Figuur 3 Schematische weergave van tafeltechnieken

Bij tafels met zowel in de lengte-, als in de dwarsrichting verstelmogelijkheden bewegen de materialen zich gedeeltelijk tegengesteld (lengterichting) en gedeeltelijk parallel (dwarsrichting). Materialen worden in de dwarsrichting afgetapt. Door deze uitvoering ontstaat een overgangsgebied tussen lichte en zware materialen, de zogenaamde tussenfractie. Deze tussenfractie kan mogelijk worden teruggevoerd naar de voeding, die het scheidingsproces ondergaat.

4.2.4 Fluïdbedscheiding

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. De deeltjesgrootte speelt hierbij ook een belangrijke rol.
Indien men, via een poreuze bodem, ingeblazen lucht gelijkmatig verdeelt over een kolom (bed) van fijn poedervormig materiaal zoals bijvoorbeeld zand, ijzerpoeder, magnetiet en dergelijke zal bij een bepaalde luchtsnelheid het poedervormige materiaal fluïdiseren, waardoor het zich min of meer als een 'vloeistof' gedraagt. Deze 'vloeistof' heeft dan een schijnbare dichtheid die, afhankelijk van de luchtsnelheid en het gekozen fluïdisatiemedium, kan variëren.
Brengt men nu in deze 'vloeistof' een mengsel van materialen dat niet deelneemt aan de fluïdisatie (wordt bepaald door de combinatie van deeltjesgrootte en dichtheid) dan zullen deze materialen net zoals in normale vloeistoffen, afhankelijk van hun dichtheden, drijven of zinken. Op deze manier zijn materialen van elkaar te scheiden.



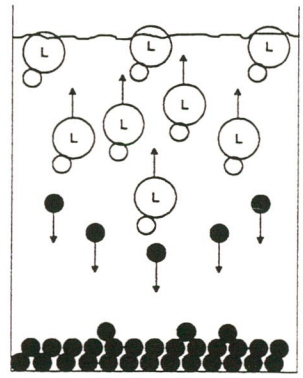
Figuur 4 Schematische weergave van fluidbedscheiding

Fluïdbedscheiding functioneert soms ook zonder gebruik van poedervormige fluïde media. In dat geval moet een van de te scheiden materialen als fluïde medium dienst doen. Meestal zal dit resulteren in een minder goede scheiding van de materialen.
Fluïdbedscheiding wordt momenteel nog slechts beperkt toegepast en is nog in ontwikkeling.

4.3 Nat mechanische technieken

4.3.1 Flotatie

Het flotatieproces is gebaseerd op de affiniteit van het deeltjesoppervlak voor adsorptie aan een gasbel. Vaste deeltjes worden gesuspendeerd in water, waarna gasbelletjes door de suspensie worden geleid die zich vervolgens hechten aan de vaste deeltjes. Hierdoor vermindert de soortelijke massa van het vaste deeltje en stijgt dit naar het vloeistofoppervlak.

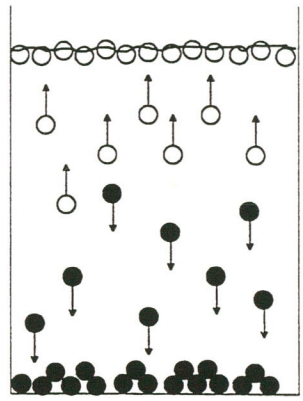


Figuur 5 Schematische weergave van flotatie

Indien de oppervlakken van de te scheiden materialen minder geschikt zijn voor adsorptie aan gasbellen, wordt soms gebruik gemaakt van oppervlaktespanningsverlagende chemicaliën waardoor gasbellen zich wel aan de deeltjes hechten. Flotatie wordt onder andere toegepast voor het scheiden van kunststoffen, het scheiden van mineralen en het ontinkten van papier.

4.3.2 Drijf/zinktechnieken

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. De te scheiden deeltjes worden in een vloeistof (medium) gebracht, waarvan de dichtheid wordt gekozen tussen de dichtheden van de te scheiden materialen. Materialen met een kleinere dichtheid dan het medium zullen gaan drijven, terwijl de materialen met een hogere dichtheid dan het medium zullen zinken.

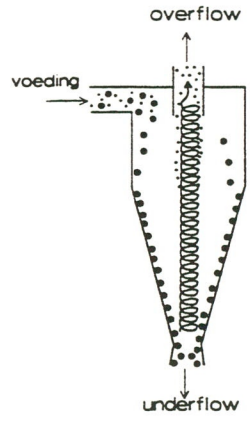


Figuur 6 Schematische weergave van drijf/zinktechnieken

Als medium wordt vaak een waterige suspensie van ferro-silicium of magnetiet toegepast. De maximale te bereiken dichtheid met deze media is circa 3500 kg/m^3. Indien als medium een magnetische vloeistof wordt toegepast, kunnen schijnbare dichtheden, oplopend tot circa 20000 kg/m^3, worden gecreëerd. Hierdoor zijn ook de zwaardere non-ferro metalen onderling te scheiden.

4.3.3 Hydrocyclonage

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

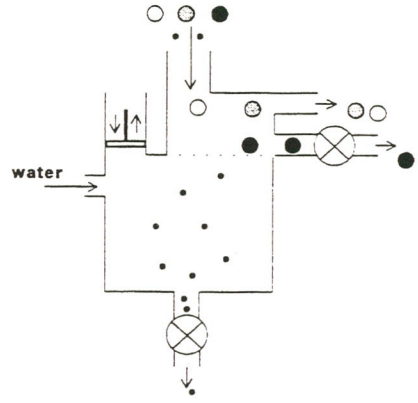


Figuur 7 Schematische weergave van hydrocyclonage

Bij deze techniek moet rekening worden gehouden met het feit dat kleine deeltjes met een hoge dichtheid hetzelfde gedrag kunnen vertonen als grote deeltjes met een lagere dichtheid. De vloeistoffen, die voor hydrocyclonage worden gebruikt, kunnen naast water ook zwaardere en lichtere vloeistoffen zijn.

4.3.4 Jiggen

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes op grond van verschillen in dichtheid. In een conventionele jig worden de te scheiden deeltjes in een opwaartsgerichte pulserende vloeistofstroom gebracht. Hierdoor verplaatsen de deeltjes zich in de richting van deze vloeistofstroom. Gedurende het wegvallen van de vloeistofstroom verplaatsen de deeltjes zich als gevolg van de zwaartekracht in de tegenovergestelde richting. De zwaardere deeltjes vallen hierbij het snelst naar beneden, waardoor een scheiding tussen lichte en zware deeltjes optreedt.

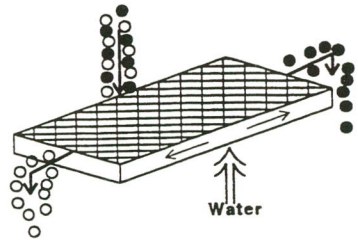


Figuur 8 Schematische weergave van jiggen

Jiggen wordt veelal toegepast voor het scheiden van kunststof/metalen mengsels en mineralen.

4.3.5 Tafeltechnieken

Daarnaast bestaat er ook een zogenaamde 'natte' tafel. Hierbij worden de te scheiden materialen vermengd met water op een beweegbare, schuin opgestelde, tafel met een ondoorlaatbare geprofileerde bodem gebracht. Het medium water vervult hier dezelfde rol als lucht bij de 'droge' tafels. Door de opwaartse kracht van het water zullen de deeltjes afhankelijk van hun dichtheid meer of minder op de tafelbodem rusten. Als gevolg hiervan bewegen ze respectievelijk in de richting van de tafel trilbeweging of in de richting van de op de deeltjes werkende zwaartekracht vanwege de schuinverstelling van de tafel.

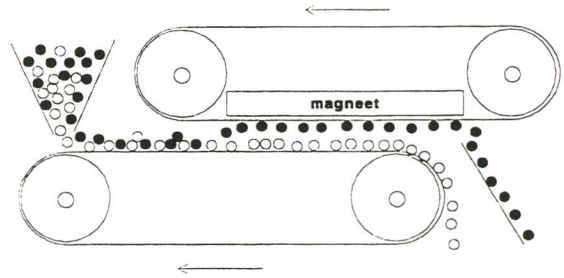


Figuur 9 Schematische weergave van tafeltechnieken

4.4 Electromagnetische technieken

4.4.1 Ferromagnetische technieken

Het principe hiervan berust op het gegeven dat ferromagnetische of zeer sterk paramagnetische materialen worden aangetrokken door een magneet en zodoende kunnen worden gescheiden van materialen die niet worden aangetrokken.



Figuur 10 Schematische weergave van ferromagnetische technieken

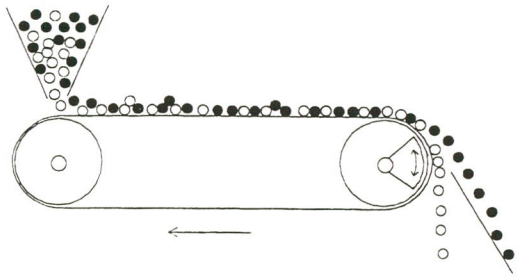
Vele uitvoeringsvormen komen voor, waarvan de meest toegepaste de bovenband en koprol magneet zijn. Als magneet worden zowel electro- als permanente magneten toegepast. Deze techniek wordt op brede schaal toegepast om magnetische materialen uit afvalstromen te verwijderen. Dit verwijderen van magnetische materialen is meestal noodzakelijk alvorens meer specifieke non-ferro scheidingstechnieken worden toegepast.

4.4.2 Sterke veld magneettechnieken

Deze techniek geeft scheiding van deeltjes op grond van verschillen in zwak magnetische eigenschappen tussen metalen en metalen/kunstoffen.
Het apparaat bestaat uit een zeer sterke, meestal permanente magneetrol waarover de te scheiden materialen via een transportband worden geleid. De zwak magnetisch materialen zullen als gevolg van aantrekking of afstoting een andere valbaan krijgen vergeleken met niet magnetische materialen, waardoor een scheiding tussen materialen optreedt. Deze techniek wordt toegepast voor het scheiden van non-ferro's onderling of non-ferro/kunststof mengsels en gelegeerde staalsoorten.

4.4.3 Wervelstroom (Eddy Current) technieken

Het principe hiervan berust op het gegeven dat indien men een geleidend metaaldeeltje in een wisselend magneetveld brengt er een wervelstroom (Eddy Current) in het deeltje gaat lopen. Deze wervelstroom verwekt op zijn beurt een magneetveld dat tegengesteld gericht is aan het aangelegde veld. Hierdoor wordt het deeltje afgestoten.

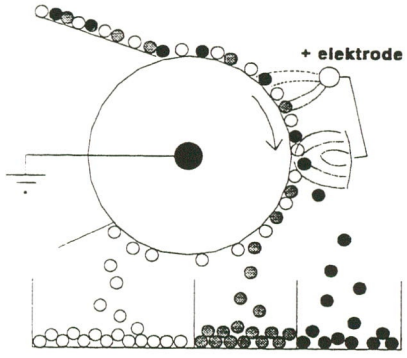


Figuur 11 Schematische weergaven van wervelstroomtechnieken

Daarbij is de afstotende kracht groter naarmate de opgewekte wervelstroom in het deeltje groter is. De opgewekte wervelstroom in een deeltje wordt bepaald door de geleidbaarheid, grootte, en vorm van het deeltje. Daarnaast speelt de dichtheid van het deeltje een belangrijke rol. De verhouding geleidbaarheid/dichtheid is met name bepalend voor de afstand waarover het deeltje wordt afgestoten.
Bij de huidige wervelstroomscheiders worden zeer sterke permanente magneten (onder andere neodymium, ijzer, borium) toegepast. Deze magneten maken deel uit van een roterende trommel. Afhankelijk van de uitvoering van de wervelstroom scheider kunnen deeltjes tussen 1 tot circa 100 mm worden gescheiden. Ferromagnetische materialen moeten vooraf worden verwijderd omdat hechten hiervan aan de magneetrol de apparatuur ernstig kan beschadigen.

4.4.4 Electrostatische technieken

Het principe hiervan berust op het gegeven dat, indien men een geladen deeltje in een elektrisch veld brengt, de deeltjes op basis van hun lading worden aangetrokken of afgestoten. In een elektrisch veld zullen gelijk geladen deeltjes elkaar afstoten en ongelijk geladen deeltjes elkaar aantrekken.



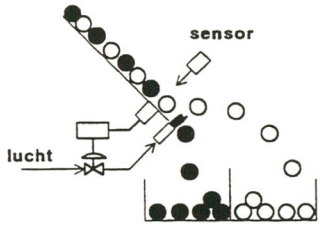
Figuur 12 Schematische weergave van elektrostatische technieken

Voor het opladen van deeltjes kunnen verschillende technieken worden toegepast. Door wrijving krijgen deeltjes van verschillende materialen tegengestelde ladingen. Ook kunnen deeltjes worden opgeladen door ze met ionen te bestoken.

Electrostatische scheiding van een mengsel is mogelijk wanneer deze electrostatische krachten groot genoeg zijn om de zwaarte- of traagheidskrachten te overwinnen. De deeltjes mogen niet te klein (< 75 micron) zijn omdat anders de scheiding verstoord wordt door luchtwervelingen. Verwerking van grote deeltjes (> 2 mm) heeft tot gevolg dat de hoeveelheid lading op het oppervlak te klein is in vergelijking met de zwaartekracht. Verder is het belangrijk dat het materiaal niet te nat is of voorzien is van een al dan niet geleidende oppervlaktelaag.
Deze technieken kunnen zeer algemeen worden toegepast, omdat ze in principe geschikt zijn om mengsels van wel en niet of slecht geleidende materialen te scheiden. Deze techniek wordt toegepast in de ertsverwerkende industrie, papier/kunststof scheiding, koper/kunststof scheiding en voedselverwerkende industrie.

4.5 Sensorgestuurde scheidingstechnieken

Het principe hiervan berust op het scheiden van deeltjes vanwege verschillen in thermische, magnetische, optische en elektrische eigenschappen. Deze techniek bestaat altijd uit twee stappen respectievelijk herkenning en afscheiding.
Een sensorgestuurd scheidingssysteem bestaat in principe uit:
- één of meer sensoren waarmee de deeltjes worden herkend,
- een signaalverwerker, bijvoorbeeld een microcomputer,
- een actuator waarmee de deeltjes worden afgescheiden.



Figuur 13 Schematische weergave van sensorgestuurde scheidingstechnieken

Voor de herkenning worden sensoren toegepast waarmee verschillen in materiaaleigenschappen worden gemeten. Deze sensoren meten bijvoorbeeld verschillen in:
- warmtegeleiding,
- kleur,
- lichtdoorlaatbaarheid,
- geleidingsvermogen,
- capaciteit,
- inductie,
- infrarood absorptie,
- röntgen fluorescentie,
- laser atoom emissies.

Voor de afscheiding wordt door de actuator elektrische informatie omgezet naar meestal mechanische energie. Actuatoren worden uitgevoerd, variërend van luchtventielen tot valluik en robotarm.

De selectiviteit (kwaliteit) en de prestaties (kwantiteit) van de sensorgestuurde scheiding wordt bepaald door de afzonderlijke componenten en de onderlinge afstemming.

Selectiviteit/kwaliteit:
De selectiviteit van de sensorgestuurde scheiding wordt vooral beïnvloed door onregelmatigheden in monstergrootte, monstersamenstellingen en monsteraanvoersnelheden en plaatsbepaling van het monster. Indien het sensorgedeelte de beperkende factor is kunnen multi-sensorsystemen worden toegepast.

Prestaties/kwantiteit:
Voor de herkenning moeten de te scheiden deeltjes één voor één langs de sensor worden geleid. Het door de sensor opgenomen signaal wordt verwerkt en vergeleken met

een referentiewaarde. De signaalverwerking kan snelheidsbepalend zijn. De werkelijke scheiding wordt uitgevoerd door de actuator. De snelheid is afhankelijk van de gekozen techniek. Met pneumatiek zijn reactietijden van 10 tot 100 milliseconden mogelijk. Bij schuivers, robotarmen en dergelijke zijn de reactietijden groter.

Sensorgestuurde scheiding wordt op dit moment nog maar op beperkte schaal toegepast. De redenen hiervoor zijn onder andere de ongunstige prijs/prestatieverhouding en het gegeven dat meestal nog ontwikkelingswerk moet worden uitgevoerd.
Op beperkte schaal worden sensorgestuurde scheidingssystemen toepast voor terugwinnen van non-ferro's uit autoshredderfracties en voor het verwijderen van metaalverontreinigingen in kunststoffen. Ook op gebied van kunststof/kunststofscheiding wordt sensorgestuurde scheidingsapparatuur op de markt geïntroduceerd.

5 Toepassingsgebied en leveranciers

5.1 Toepassingsgebied

Voor het maken van de juiste keuze van de toe te passen scheidingstechniek moet bekend zijn op basis van welke fysische eigenschappen wordt gescheiden en welke eisen de apparatuur stelt aan de granulaat deeltjesgrootte. De hierna volgende tabel 4 geeft hiervan een overzicht. In deze tabel is daarnaast aangegeven in hoeverre de techniek materiaalspecifiek is voor het afscheiden/scheiden van non-ferro's. Materiaalspecifiek wil zeggen, dat voor de scheiding gebruik wordt gemaakt van fysische eigenschappen, die alleen de non-ferrometalen bezitten. Hierbij valt op dat slechts enkele technieken specifiek zijn voor non-ferro's en dat voor de afscheiding/scheiding van non-ferro's ook veel technieken die berusten op verschillen in dichtheid kunnen worden toegepast.
Daarnaast bevat de tabel getallen over de capaciteiten, de energieverbruiken, de investeringen en de kosten van de diverse technieken. Daarbij moet worden aangetekend dat het hierbij om globale cijfers gaat. Veel van deze grootheden zijn namelijk sterk produkt- en leverancierafhankelijk. Bovendien worden door de meeste leveranciers van apparatuur geen algemeen geldende gegevens verstrekt over deze grootheden.

Voor het berekenen van de kosten/ton is uitgegaan van de volgende gegevens:
Afschrijving + rente + onderhoud = 30% van de investeringen/jaar.
Energieprijs = 0,25 *f*/kWh.
Produktie-uren 2000/jaar.

In deze kostenberekeningen zijn dus geen personeelskosten opgenomen!!!
Verder zijn de uitkomsten van deze berekeningen afgerond. Onder de *f* 5,- (op hele guldens) en boven de *f* 5,- (op vijf hele guldens).

De prestatie van scheidingstechnieken wordt meestal weergegeven in de vorm van percentage concentratie en percentage rendement. Daarbij worden de volgende definities gehanteerd:
De 'concentratie' is de gewichtshoeveelheid van één bepaald materiaal in een fractie gedeeld door de gewichtshoeveelheid van de fractie x 100%.
Het 'rendement' is de gewichtshoeveelheid van één bepaald materiaal in een afgescheiden fractie gedeeld door de gewichtshoeveelheid van dat materiaal in de voeding x 100%.
Bij toepassing van de beschreven scheidingstechnieken kunnen onder ideale omstandigheden concentraties en rendementen van meer dan 95% worden behaald. Hierbij is echter de voorbehandeling van de te scheiden materialen bepalend voor de prestaties van de scheidingstechniek. Voor de meeste scheidingstechnieken hebben, naast de in de tabel 4 aangegeven grenzen voor de granulaatgrootte, uniforme deeltjesgrootte en vorm een belangrijke positieve invloed op de prestatie van de scheidingstechniek. Daarnaast kunnen op het oppervlak aanwezige verontreinigingen en insluitingen van vreemde materialen de prestatie van de scheidingstechniek belangrijk negatief beïnvloeden.
Voor de voorbehandeling moeten combinaties van ontmantelen en verkleinen worden toegepast (zie § 3.1), die zijn toegespitst op de erop volgende scheidingstechnieken en de eisen die de potentiële afzetmarkt aan afgescheiden materialen stelt.

Tabel 4 Overzicht technieken

Techniek	Materialen afvalsoort	Scheiding op basis van verschillen in	Specifiek voor non-ferro's	Granulaat grootte mm	Capaciteit t/h	Energie kWh/t	Investering kf	Kosten f/t
Zeven	huishoud-bouw/sloop-shredderafval	grootte/vorm	nee	+0,5 mm	1-100	1-3	10-300	1-2
Windziften	huishoud metaal/kunststof shredder	dichtheid grootte/vorm	nee/ja	0,1-10 mm	1-50	5-10	100-200	2-20
Tafel-technieken	shredder metaal/kunststof	dichtheid grootte/vorm	nee/ja	1-10 mm droog 0,1-5 mm nat	0,5-2	10-20	50-100	10-20
Fluidbed-scheiding	metaal/kunststof	dichtheid	nee	0,3-10 mm	0,5-2	10-20	50-100	10-20
Flotatie	mineraal kunststof	dichtheid	nee	0,1-50 mm	1-100	2-5	100-1000	15-20
Drijf/zink-scheiding	non-ferro's kunststof	dichtheid	nee/ja	3-100 mm	1-100	2-5	20-400	10-15*)
Hydro cyclonage	kunststof klei/zand	dichtheid	nee	0,01-10 mm	1-25	2-5	25-200	2-5
Jiggen	mineraal	dichtheid	nee	1-50 mm	1-100	2-5	100-1000	15-20
Ferro Magnetische scheiding	ferro's	magnetische eigenschappen	nee	+0,2 mm	1-20	1-2	10-50	1-2
Sterke veld magneet-scheiding	non-ferro/kunst-stof	zwak magnetisch eigenschappen	ja	+0,2 mm	0,5-2	1-2	10-50	3-5
Wervelstroom-scheiding	non-ferro	geleidbaarheid dichtheid	ja	2-100 mm	0,5-10	2-3	100-300	5-30
Electro statische-scheiding	metaal/kunststof	geleidbaarheid	ja	0,1-5 mm	0,5-2	1-2	150-300	25 -50
Sensor gestuurde scheiding	non-ferro kunststof glas	optisch-electrisch-inductie-eigenschappen	ja	5-100 mm	0,5-2	3-10	100-1000	30-80

*) kosten/ton inclusief verbruik van suspensiemateriaal

5.2 Leveranciers

Gezien het doel van dit project zijn alleen leveranciers geconsulteerd die min of meer materiaalspecifieke non-ferro scheidingsapparatuur op de markt brengen.
Een alfabetisch overzicht van enkele leveranciers en de door hun geleverde technieken wordt hierna gepresenteerd. Voor de technieken zijn daarbij de volgende afkortingen gebruikt:

Windziften	=	WZ
Tafeltechnieken	=	TT
Drijf/zinkscheiding	=	DZ
Sterke veld magneetscheiding	=	SVM
Wervelstroom technieken (Eddy Current)	=	EC
Electrostatische technieken	=	ES
Sensorgestuurde scheidingstechnieken	=	SS met toevoeging.

- ALPINE, Duitsland: WZ en TT[1)]
- ANDRIN, Frankrijk: EC[1)]
- AUMUND Fördertechnik GmbH, Duitsland: SS met röntgen fluorescent[1)]
- BAKKER MADAVA, Nederland: EC[1)]
- BOA, Nederland: WZ
- CARPCO, USA: TT, SVM, EC, ES en SS met inductie[1)]
- ELDAN, Denemarken: WZ en TT[1)]
- ERIEZ Magnetics Europe ltd., Engeland: SVM, EC en ES[1)]
- GOUDSMIT, Nederland: SVM, EC[1)]
- HAMOS, Duitsland: ES en SS met inductie[1)]
- HAPPLE, Duitsland: TT
- KIESOW, DZ
- LINDEMANN Maschinenfabrik GmbH, Duitsland: EC[1)]
- NEWELL Engineering ltd., Engeland: EC[1)]
- NIHOT, Nederland: WZ
- SCANDINAVIAN RECYCLING, Zweden: WZ en TT[1)]
- SEA, Italië: SS met kleur
- SGM, Italië: EC[1)]
- STEINERT Elektromagnetbau GmbH, Duitsland: EC[1)]
- S+S Electronic GmbH, Duitsland: SS met inductie en laser[1)]
- WAGNER KG, Duitsland: EC en SS met inductie[1)]
- WEMCO, DZ

1) In bijlage 1 zijn van deze firma, op alfabetische volgorde, enkele relevante brochures opgenomen.

6 Voordelen, nadelen en ontwikkelingen van non-ferro scheidingstechnieken

6.1 Specifieke non-ferro scheidingstechnieken

Zoals reeds in § 5.1 is aangegeven zijn momenteel slechts een beperkt aantal scheidingstechnieken specifiek voor non-ferro's beschikbaar.
Deze technieken zijn:
- sterke veld magneetscheiding,
- wervelstroomtechnieken,
- electrostatische technieken,
- sensorgestuurde scheidingstechnieken.

De voor- en nadelen en de mogelijke ontwikkelingen binnen deze technieken zullen hierna worden toegelicht.

6.1.1 Sterke veld magneetscheiding

Dit is een techniek die momenteel nog maar beperkt wordt toegepast. Wel staat deze techniek sterk in de belangstelling. Dit met name door de ontwikkelingen op het gebied van nieuwe zeer sterke permanente magneten.
Leveranciers van deze apparatuur geven aan dat systemen zijn verkocht voor het verwijderen van aluminium uit kunststoffen (PET-fles recycling). Daarnaast wordt ook geclaimd dat hiermee diverse kwaliteiten RVS te scheiden zijn.

Voordelen:
- scheiden van zwak magnetische materialen is mogelijk,
- techniek is relatief goedkoop ten opzichte van andere specifieke non-ferro scheidingstechnieken,
- constructie is simpel.

Nadelen:
- materialen moeten vrij zijn van ferro-metalen,
- techniek is nog in ontwikkeling,
- techniek werkt waarschijnlijk alleen goed met deeltjes van < 10 mm.

Ontwikkelingen:
Door ontwikkeling van nog sterkere permanente magneten kunnen steeds meer zwakmagnetische materialen worden gescheiden. Met name voor het scheiden van diverse kwaliteiten RVS is vanuit de recycling branche grote interesse. Hier ligt een interessante toepassingsontwikkeling.

6.1.2 Wervelstroomtechnieken

Van alle specifieke non-ferro scheidingstechnieken wordt alleen wervelstroomscheiding op redelijk grote schaal toegepast. Wervelstroom scheidingsapparatuur wordt meestal toegepast in installaties voor het verwerken van autowrakken, huisvuilscheidingsinstallaties, verbrandingsinstallaties en in installaties voor de recycling van wit- en bruingoed.

Voordelen:
- techniek is toepasbaar voor deeltjes tot 100 mm. Hierdoor zijn voorbehandelingskosten (malen, zeven) betrekkelijk gering,
- techniek is redelijk uit ontwikkeld.

Nadelen:
- non ferro-metalen onderling zijn hiermee maar beperkt te scheiden,
- materialen moeten vrij zijn van ferro-metalen,
- minimale toepasbare deeltjesgrootte is circa 2 mm.

Ontwikkelingen:
Voor zover bekend lopen bij de producenten van deze apparatuur op het gebied van ontwikkelingen nauwelijks acties.

TNO ziet als mogelijke ontwikkelingen:
- optimaliseren van de Eddy Current rotor qua constructie en veldsterkte,
- optimaliseren van de voedingsmethode naar de Eddy Current rotor.

6.1.3 Electrostatische technieken

Deze techniek is op dit moment sterk in de belangstelling bij verwerkers van electronica-afvallen. De redenen hiervoor zijn vooral gelegen in het feit dat bij recycling van electronica-afvallenscheiding, van de hierin aanwezige metalen/kunststof combinaties, alleen mogelijk is indien de afvallen zeer fijn (deeltjesgrootte < 1 mm) worden gemalen. Beneden een deeltjesgrootte van 1 mm zijn andere scheidingstechnieken zoals tafeltechnieken en wervelstroomscheiding niet toepasbaar terwijl echter de electrostaat de beste prestaties levert met deeltjes van < 1 mm.

Voordelen:
- scheiding van deeltjes < 1 mm is mogelijk,
- energieverbruik is gering.

Nadelen:
- kostprijs/ton is vrij hoog,
- techniek is toepasbaar voor deeltjes met een grootte van maximaal 5 mm. Hierdoor is kostprijs voor het verkleinen van de materialen relatief hoog,
- vervuilingen en coatings op het deeltjesoppervlak werken storend,
- materiaal moet droog zijn,
- vonkoverslag kan brand of explosies veroorzaken.

Ontwikkelingen:
Naar verwachting zijn er weinig mogelijkheden voor verdere ontwikkelingen. Toepassingen blijven beperkt tot bijvoorbeeld het terugwinnen van non-ferro metalen uit fijn gemalen electronica afvallen of voor de verwijdering van metaalverontreinigingen uit kunststoffen.

6.1.4 Sensorgestuurde scheidingstechnieken

Sensorgestuurde scheidingstechnieken zijn alleen interessant als ze duidelijke voordelen bieden ten opzichte van technieken die zich al hebben bewezen. De traditionele mechanische scheidingstechnieken hebben het grote voordeel dat er geen aparte herkenningsstap hoeft te worden uitgevoerd. Indien sensorgestuurde scheiding in een bepaalde situatie dan ook geen wezenlijk voordeel biedt, zijn traditionele technieken vaak (economisch) interessanter. Dit geldt in het bijzonder voor het afscheiden van ferrometalen en het scheiden van materialen met een groot verschil in dichtheid. Het feit dat er een aparte herkenning plaatsvindt kan echter ook een voordeel zijn. Dit is het geval wanneer een betere herkenning bij kan dragen aan kwaliteitsverhoging van de scheiding. Sensoren zijn dus meestal alleen nuttig wanneer de bottle-neck zit in de herkenning van de materialen. Dit is meestal het geval bij scheiding van materialen binnen één materiaalklasse. Daarnaast kan een aparte herkenningsstap nuttig zijn bij handmatige sortering omdat automatische sensorsystemen soms kunnen concurreren met menselijke arbeid.

De deeltjesgrootte is een belangrijke parameter bij afvalscheiding. Op grond hiervan zijn hierna een aantal momenteel geldende vuistregels weergegeven:
- bij de verwerking van fracties met deeltjes groter dan 200 mm komt handsortering, beeldschermsortering of sensorgestuurde herkenning in aanmerking,
- bij de verwerking van fracties met deeltjes tussen 50 en 200 mm ligt sensorgestuurde scheiding of het gebruik van traditionele scheidingstechnieken het meest voor de hand,
- voor de verwerking van fracties met deeltjes tussen 10 en 50 mm zijn de traditionele technieken meestal in het voordeel,
- voor de verwerking van fracties met deeltjes kleiner dan 10 mm zijn de traditionele scheidingstechnieken het meest geschikt.

Voordelen:
- hiermee zijn materialenmengsels te scheiden die met andere technieken niet of nauwelijks zijn te scheiden. Met name de scheiding van non-ferro's onderling, glas/keramiekscheiding en de scheiding van kunstoffen onderling,
- grote zuiverheid is te bereiken,
- controle op kwaliteit is mogelijk,
- scheiding van meerdere materialen kan meestal in één stap plaatsvinden,
- geïntegreerde controle op potentieel milieubelastende stoffen is mogelijk.

Nadelen:
- de techniek is nieuw en nog vrijwel onbekend binnen de afvalverwerkingsindustrie. Deze industrietak is niet gewend aan de toepassing van geavanceerde technieken voor laagwaardige afvalstoffen.

- De techniek is relatief gevoelig voor storingen. De werking van de sensoren wordt verstoord door vervuilingen aanwezig op het oppervlak van de te herkennen materialen en de stabiliteit van de sensoren is vaak nog onvoldoende.
- De techniek is relatief duur. Voor rendabel gebruik zijn daarom grote afvalstromen nodig.
- De techniek is in de huidige uitvoeringsvorm slechts geschikt voor een aantal specifieke afvalstromen met redelijk grote deeltjes.

Ontwikkelingen:
Het aantal operationele sensorgestuurde scheidingsinstallaties is momenteel beperkt. Een uitzondering hierop vormt een groep apparatuur waarmee via meting van inductie gekoppeld aan luchtventielen of valluiken geringe hoeveelheden metalen uit kunststofgranulaten worden verwijderd. In dit geval gaat het niet om het terugwinnen van metalen, maar om het reinigen van de kunststofgranulaten.
Daarnaast wordt in de voedingsmiddelenbranche ook gebruik gemaakt van kleursorteerapparatuur.
Op het gebied van non-ferroscheiding zijn recent door twee firma's sensorgestuurde (röntgen en laser) scheidingsapparaten ontwikkeld die momenteel op de markt worden geïntroduceerd (§ 5.2).
Verwacht wordt dat, voor het succesvol en economisch haalbaar scheiden van bijvoorbeeld non-ferro's met sensorgestuurde technieken, optimalisaties aan apparatuur noodzakelijk zijn. Daarbij is met name de monstervoorbereiding (uniformiteit deeltjesvorm en grootte), het deeltje voor deeltje langs de sensor voeren en de beschikbaarheid van snelle actuatoren van belang. Daarnaast moet de robuustheid en de gevoeligheid van de sensor voor oppervlakte vervuilingen en dergelijke worden verbeterd. Verhogen van de snelheid van verwerking van de sensorgegevens moet gelijke tred houden met de ontwikkeling van snelle actuatoren.

6.2 Niet specifieke non-ferro scheidingstechnieken

Technieken waarbij voor de scheiding tussen materialen hoofdzakelijk gebruik wordt gemaakt van dichtheidsverschillen worden veelvuldig toegepast om mengsels van metalen/kunststoffen en metalen/metalen te scheiden.
Vooral toegepast hiervoor worden de technieken:
- windziften,
- tafeltechnieken,
- drijf/zinkscheiding.

Deze technieken worden uitgebreid toegepast bij de verwerking van autowrakken en kabelafvallen via verkleinen gevolgd door fysische scheiding. Deze technieken zullen hierna worden toegelicht.

6.2.1 Windziften

Windziften wordt in de recyclingindustrie vaak toegepast voor het afscheiden van niet bruikbare stof/vuil fracties. Van het bruikbare produkt dat na windziften resteert, worden vervolgens de materialen die moeten worden teruggewonnen met andere technieken verder geconcentreerd.

Voordelen:
- de techniek is toepasbaar voor een breed scala aan afvallen,
- vele uitvoeringsvormen aangepast aan produkten zijn verkrijgbaar,
- produceert geen tussenfracties.

Nadelen:
- het energieverbruik is relatief hoog,
- de kosten/ton zijn relatief hoog,
- de techniek is als definitieve scheidingsstap beperkt inzetbaar.

Ontwikkelingen:
Aangezien deze techniek reeds tientallen jaren wordt toegepast, zijn geen echte nieuwe ontwikkelingen te verwachten. Wel kunnen bestaande ziftertypes worden geoptimaliseerd ten aanzien van het energieverbruik. Bovendien zullen met name voor recycling van diverse afvallen de windzifters meer produktgericht worden ontworpen. Door deze ontwikkelingen kunnen windzifters bij recycling van afvallen mogelijk ook als relatief goedkope definitieve scheidingsstap worden toegepast.

6.2.2 Tafeltechnieken

Tafeltechnieken worden algemeen toegepast bij het scheiden van metaal/kunststof mengsels. Grootste toepassingsgebied is de kabelrecycling.

Voordelen:
- methode is technisch eenvoudig,
- proces is visueel inregelbaar.

Nadelen:
- het hoge energieverbruik resulteert in relatief hoge kosten/ton,
- de techniek is slechts beperkt toepasbaar en is vrijwel alleen geschikt voor de scheiding van koper/kunststof granulaten met homogene deeltjesgrootte,
- toepassing van de techniek geeft meestal ook een niet gescheiden tussenfractie,
- de methode is gevoelig voor fluctuaties in voedingsdebiet en samenstelling.

Ontwikkelingen:
Tafeltechnieken zijn in principe ook geschikt voor het scheiden van andere materialen dan koper/kunststof. Hiervoor moeten optimalisaties aan luchtverdeling, luchtsnelheid, tafelbeweging en tafeloppervlak worden uitgevoerd.

6.2.3 Drijf/zinkscheiding

Deze techniek wordt vrijwel alleen toegepast voor opwerking van de non-ferrofractie vrijkomend uit autoshredder installaties. Hierbij gaat het met name om het afscheiden van aluminium van de zwaardere non-ferro fracties.

Voordeel:
- techniek is selectief en vrijwel niet gevoelig voor verschillen in deeltjesgrootte en vorm.

Nadelen:
- het suspensie materiaal moet worden verwijderd,
- het verlies aan suspensiemateriaal bedraagt circa *f* 10,-/ton behandelde voeding.

Ontwikkelingen:
Het grote voordeel van drijf/zinkscheiding is de ongevoeligheid voor deeltjesgrootte en vorm waardoor de voorbehandeling van de te scheiden materialen relatief goedkoop is. Optimalisaties van de uitvoering en de procesvoering van de apparatuur en het verbreden van het scala aan in te stellen dichtheden van de vloeistoffen zouden deze techniek een aanzienlijk breder toepassingsgebied kunnen geven.

7 Evaluatie en hoofdconclusies

7.1 Evaluatie

Huidig aanbod apparatuur

De resultaten van deze inventarisatie tonen de volgende belangrijke aspecten aan:

- De procesroute, die wordt toegepast voor het opwerken van afvalstromen die non-ferrometalen bevatten, wordt in principe gedicteerd door de prijs/kwaliteitseisen die de afzetmarkt voor afgescheiden non-ferrometalen stelt. Op basis van deze eisen worden keuzes gemaakt voor de verwerkingsroutes van non-ferrometalen bevattende afvalstromen.
- Voor het afscheiden van non-ferrometalen uit materialenmengsels zijn slechts enkele technieken materiaalspecifiek. Materiaalspecifiek wil zeggen dat voor die scheiding gebruik wordt gemaakt van die fysische eigenschappen waarbij de non-ferrometalen zich onderscheiden, bijvoorbeeld elektrische geleidbaarheid. De onderzochte, te noemen toe te passen technieken zijn.
  - sterke veldmagneetscheiding
  - wervelstroomscheiding
  - elektrostatische scheiding
  - sensor gestuurde scheiding

  De meest toegepaste materiaalspecifieke non-ferro scheidingstechniek is wervelstroomscheiding: *toepassing geschiedt ten behoeve van verwijdering van non-ferro metalen uit autoschroot, huishoudelijk afval en asresten van verbrandingsinstallaties.* Sensorgestuurde technieken zijn in dit opzicht veelbelovend maar zijn slechts beperkt ontwikkeld en worden nog niet op brede schaal in de praktijk toegepast.
  Van de niet-materiaalspecifieke technieken zijn onderzocht:
  - zeven
  - windziften
  - tafeltechnieken
  - fluidbed-scheiding
  - flotatie
  - drijf/zink-scheiding
  - hydrocyclonage
  - jiggen
  - ferromagnetische scheiding

  Wat betreft deze technieken wordt scheiding voornamelijk gerealiseerd op basis van verschillen in dichtheden tussen de te scheiden materialen: *veel toegepast worden onder andere de luchttafel voor kabelrecycling en drijf/zinkinstallaties voor het scheiden van non-ferro metalenmengsels, voornamelijk afkomstig van autoshredder installaties.*
- De leveranciers bieden speciaal toepasbare apparatuur aan. Veelal zijn deze apparaten voor specifieke toepassingen ontwikkeld (bijvoorbeeld de luchttafel ten behoeve van kabelverwerking en de Eddy Current scheider ten behoeve van shredderafvalverwerking). Voor gebruik in andere toepassingen (verwerking van andere afvalstromen) dienen de desbetreffende apparaten aangepast of opnieuw ontworpen te worden.

Ontwikkelingen in het aanbod

Met uitzondering van de sensorgestuurde scheidingstechnieken worden alle andere non-ferro metaalscheidingstechnieken reeds geruime tijd voor de verwerking van specifieke afvalstromen toegepast. Dit geeft aan dat er nauwelijks sprake is van structureel nieuwe ontwikkelingen op dit gebied. Wel is de apparatuur, gebaseerd op deze bekende principes, qua constructie (bijvoorbeeld de keuze van magneetmaterialen van de permanente magneten), aangepast aan het huidige kennisniveau. Optimalisaties van de scheidingsapparatuur zouden de toepasbaarheid en de prestaties van de scheidingstechnieken aanzienlijk kunnen verbeteren.
Voorbeelden hiervan zijn:

- De ontwikkelingen op het gebied van de constructie van (inclusief keuze magneetmaterialen) sterke permanente magneten die van grote invloed zijn geweest op het verbreden van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders. Mogelijk kunnen verdere ontwikkelingen op dit gebied nog bijdragen aan de verdere verbreding van het toepassingsgebied van wervelstroomscheiders.
- Wat betreft de sensorgestuurde technieken is meestal de kwaliteit van de sensor wel voldoende. Vooral de monstervoorbereiding, het deeltje voor deeltje langs de sensor voeren en de uitvoering van de actuator krijgen in demonstratieprojecten onvoldoende aandacht. Hiermee kunnen de vaak tegenvallende prestaties van sensorgestuurde scheidingstechnieken worden verklaard. De prestaties van sensor-gestuurde scheidingstechnieken hangen af van de kwaliteit van de afzonderlijke onderdelen, de sensor, de signaalversterker en de actuator. In zo'n systeem is vooral de afstemming van deze onderdelen op elkaar van belang. Dit vormt een belangrijk ontwikkelingsgebied.
- Windzifters worden vaak als eerste grove concentratiestap in recyclingprocessen toegepast. Door introductie van apparaat- en energiegerichte optimalisaties aan de uitvoering van windzifters kunnen windzifters ook als relatief goedkoop apparaat, ten behoeve van de afscheiding van zuivere fracties, worden toegepast.
- Drijf/zink scheidingstechnieken worden, ondanks hun selectiviteit en ongevoeligheid voor variaties in deeltjesgrootte en vorm, alleen toegepast voor het scheiden van de non-ferrometalen afkomstig uit autowrakken.
  Het toepassingsgebied van deze techniek kan aanzienlijk worden verbreed, indien optimalisaties aan apparatuur en vooral het medium worden gerealiseerd.

Kosten

De via scheidingstechnieken teruggewonnen non-ferrometalen hebben afhankelijk van de soort en de marktsituatie een waarde die kan oplopen tot enkele duizenden guldens per ton. In dat kader bezien zijn de kosten/ton voor de scheidingtechnieken (*exclusief personeelskosten, zie § 5.1*) relatief gering.
De kosten/ton van de materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen *f* 5-80,-/ton. Wervelstroomscheiding is van de praktisch toegepaste technieken de goedkoopste met een kostprijs van *f* 5 -30,- /ton. De kostprijs van sensorgestuurde scheidingstechnieken is vanwege het exclusieve karakter nog relatief hoog en bedraagt circa *f* 30-80,-/ton.

Van de niet-materiaalspecifieke scheidingstechnieken bedragen de kosten/ton *f* 2-20,-. Dit is dus aanzienlijk lager dan de kosten/ton voor de materiaalspecifieke scheidingstechnieken. Vanuit kostenoverweging is het daarom aan te bevelen, om voor het afscheiden/scheiden van non-ferrometalen, in eerste instantie de niet specifieke technieken toe te passen alvorens de specifieke technieken worden ingezet. In de

praktijk echter komen ook omgekeerde techniekvolgorden voor. Met name de combinatie wervelstroomscheiding gevolgd door drijf/zinkscheiding wordt algemeen toegepast bij de verwerking van autowrakken.

7.2 Hoofdconclusie

De in de praktijk verkrijgbare scheidingsapparatuur is meestal voor een specifieke toepassing ontworpen (bijvoorbeeld de scheiding van koper en kunststof, afkomstig van kabels met een speciaal daarvoor ontworpen luchttafel). Dit houdt niet in dat deze apparatuur in generieke zin toepasbaar is (bijvoorbeeld voor de scheiding van non-ferro's en kunststoffen). Meestal dienen toegeleverde apparaten ten behoeve van de scheiding van speciaal geselecteerde mengsels aangepast te worden.
Ten behoeve van de scheiding van **specifieke** afvalstromen, dient telkens een toegespitst ontwerp van een **specifiek** scheidingsapparaat gemaakt te worden. Dit toegespitste ontwerp hangt vooral samen met de voor- en nageschakelde apparatuur in het totale verwerkingsproces.

Resumerend luidt de hoofdconclusie[1)]
De leverbare scheidingsapparatuur is niet zonder meer toepasbaar.
Ten behoeve van de verwerking van specifieke afvalstromen dienen meestal specifieke scheidingsapparaten (in totaalprocessen) toegepast te worden.
Deze apparaten dienen,
- *of aangepast, c.q. gemodificeerd te worden,*
- *of specifiek nieuw ontworpen te worden.*

1) De hoofdconclusie is mede gebaseerd op de resultaten van proefnemingen met door TNO aangeschafte scheidingsapparatuur.
Op basis daarvan heeft TNO de toegeleverde apparaten aangepast of in plaats daarvan nieuwe ontworpen. Ten behoeve van het nader bepalen van specifieke procesparameterinstellingen en/of geometrische afmetingen van de apparaten heeft TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie modellen ontwikkeld.

8 Literatuur

Algemeen:

[1] Dr. Ing. H. Kellerwessel.
1981 to 1990 - What was new in the practice of bulk solids processing.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 5.

[2] Dr.sc.techn. G. Schubert.
Processing of scrap and refuse containing non-ferrous metals.
Part 1 and Part 2.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 2 and 7.

[3] Prof. U. Andres.
Separation of non-ferrous scrap metals.
Aufbereitungs-Technik 35 (1994) nr. 2.

[4] Hans Spoel.
The current status of scrap metal recycling.
JOM april 1990.

[5] Ir. H.J. Witteveen en Ir. W.L. Dalmijn.
Concentratie van N-F metalen uit autoschroot.
Recycling juni/juli 1989.

[6] M. Rousseau and A. Melin.
The processing of non-magnetic fraction from shredded automobile scrap: A review.
Elsevier Science Publishers B.V. 1989.

[7] Scheiding van non-ferro metalen. Nat of droog, of op 't oog?
Recycling juni/juli 1986.

[8] V.P. Ithin.
Benefication of aluminium automobile scrap.
CIM bulletin, march 1986.

[9] Dr. Ing. J. Julius.
Rückgewinnung von Nichteisenmetallen in Shredderanlagen durch Trockensortierung.
Metall, 38 Jahrgang. Heft 8. August 1984.

[10] G. Schubert.
Entwicklungstendenzen bei der Aufbereitung der Stahl-, Gusseisen- und NE-Metallschrotte.
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1982.

[11] R. Helfricht.
Stand und Entwicklungstendenzen der Dichtesortierung.
Neue Bergbautechnik. 5. Jg. Heft 7 - juli 1975.

[12] A.S.J.E. Douglas, T. Welsh, A. Whitehead.
Development of equipment for the dry concentration of minerals.
Filtration & Separation, september/october 1972.

[13] Ir. W.L. Dalmijn, Ir. J.A.F. van Houwelingen.
Recycling van metalen uit auto's en welvaartsschroot.
Recycling oktober/november 1992.

[14] Ir. A. Ansems, F. Esmeyer. TNO rapport 89-21/C1, maart 1989.
Scheiding en Recycling van Non-ferrometaal/kunststofcombinaties:
Karakterisering en recyclingprocessen.

[15] J. Joziasse et al.
Monografieën informatiesystemen Milieutechnieken:
Compartiment Afvalstoffen.
TNO rapport 91-159, april 1991.

[16] Ir. J.H. Ekkelenkamp, M. Goorhuis.
Verwerking complexe huishoudelijke apparatuur.
TNO rapport 92-138, april 1992.

[17] Ir. A. Ansems, Ir. J.H. Ekkelenkamp, C. Verschut, Dr. J. Quakernaat.
Selectie van de te ontwikkelen droge deeltjesscheidingstechnieken.
TNO rapport 92-381, februari 1993.

[18] C. Verschut et al.
Recycling non-ferro kunststofcombinaties: Karakterisering TV-toestellen,
selectieve demontage onderdelen.
TNO rapport 93-054, februari 1993.

[19] A. Fluitman.
Toepassing van sensoren bij de verwerking van droge afvalstromen.
Stageverslag TNO/ME april 1994.

Eddy-Current:

[20] H.J.L. van der Valk, B.C. Braam, W.L. Dalmijn.
Eddy-Current separation by permanent magnets.
Part 1: Theory.
Elsevier Science Publishers B.V. 1986.

[21] H.J.L. van der Valk, B.C. Braam, W.L. Dalmijn.
Eddy-Current separation by permanent magnets.
Part 2: Rotating disc separators.
Elsevier Science Publishers B.V. 1988.

[22] Ernst Schloemann.
Eddy-Current techniques for segragation non-ferrous metals from waste.
Conservation & Recycling vol. 5. no. 2/3 pp 149-162, 1982.

[23] Dipl. Ing. Klaus Feistner.
Wiedergewinnung von NE-Metallen mit Wirbelstromseparatoren.
Koln. Metall, Heft 2, 37 Jahrgang 1983, seite 185.

[24] T. Sakamoto.
Multiparameter Eddy-Current technique for material sorting of steel bars.
Elsevier Science Publishers B.V. 1989.

[25] Rückgewinnung mit neuem Elektromagnetische Trennverfahren.
Rohstoff Rundschau 21/1987, 651-653.

[26] W.L. Dalmijn.
Practical applications of Eddy-Current separators in the scrap recycling industry.
The Minerals, Metals and Materials society, 1990.

Jiggen:

[27] Dr. Ing. H. Kellerwessel.
Jigs and their particular application for Recycling. Possibilities, limits, types.
Aufbereitungs-Technik 34 (1993) nr. 10.

[28] Prof. Dr. Ing. E Fellensiek, Dr. Ing. W Erdmann.
Jigging: Historical and technical development.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 11.

[29] Dr. Ing. A. Jungmann, Dipl. Ing. Th. Neumann.
Alljigs for the separation of impurities out of gravel, sand and recycling materials.
Aufbereitungs-Technik 32 (1991) nr. 1.

[30] Dr. Ing. R. Imhof.
Pneumatic flotation - a modern alternative.
Aufbereitungs-Technik nr. 8 (1988).

[31] Dr. Ing. H. Breuer, Dr. Ing. A. Jungmann.
New potentials in jigging separation for fine and ultra-fine fractions.
Aufbereitungs-Technik nr. 7 (1986).

Thermisch scheiden:

[32] J.B. Lindroos, M.E. Stout.
The separation of mixed non-ferrous metals using thermal gravity classification.
Conservation & Recycling, vol. 10. no. 2/3. pp 77-82, 1987.

[33] In Nürnberg scheiding van non-ferro metalen uit autoschroot door selectief smelten.
Recycling, februari/maart 1986.

[34] K.J. Weiss, R. Fr. Auer, W.L. Dalmijn.
Selektives Abtrennen verschiedener NE-Metalle aus Gemengen.
Metall, 36 Jahrgang, Heft 4, april 1982.

Natte magneetscheiding:

[35] W.J. Bronkala.
Purification: Do it with magnets.
Chemical Engineering, March 14 1988.

[36] J.J. Coraus, W.A. Gilbert, K.S. Liddell, R.C. Dunne.
The performance of an industrial wet high-intensity magnetic separator for the recovery of gold and uranium.
Journal of the South African institute of Mining and Metallurgy, vol. 84, no. 3, march 1984.

[37] S.E. Khalafalla, G.W. Reimers.
Benification with magnetic fluids.
Bureau of mines 1981.

[38] J. Shimoiizaka, K. Nakatsuka, T. Fujita, A. Kounosu.
Sink-float separators using permanent magnets and water based magnetic fluid.
IEEE Transactions on Magnetics, vol. mag-16, no. 2, March 1980.

Heavy media:

[39] Heavy media plant taps secondary metals resource.
Mining, June 1981.

[40] Washington Mills. Electr Minerals Corporation.
Produkt information.

Patenten:

[41] Separator for non-magnetisable metals from solid mixture.
Lindemann Maschinenfabrik EP 389767A, 1990.

[42] Magnetic separator for non-ferrous metal particles.
Andrin EP 439983, 1990.

[43] Verfahren und Vorrichtung zum Aufbereiten von Geräteschrott.
Lindemann Maschinenfabrik EP 524396A, 1993.

9 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever
Novem B.V.
Postbus 8242
3503 RE Utrecht

Namen en functies van de medewerkers
ir. A.M.M. Ansems, afdelingshoofd
C. Verschut, projectleider
J. Pisa

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad
juni 1993 tot en met december 1994

Ondertekening

C. Verschut
onderzoekleider

Goedgekeurd door

ir. A.M.M. Ansems
hoofd afdeling
Produkt- en ProduktieAfval

Bijlage 1 Brochures van leveranciers

Alpine

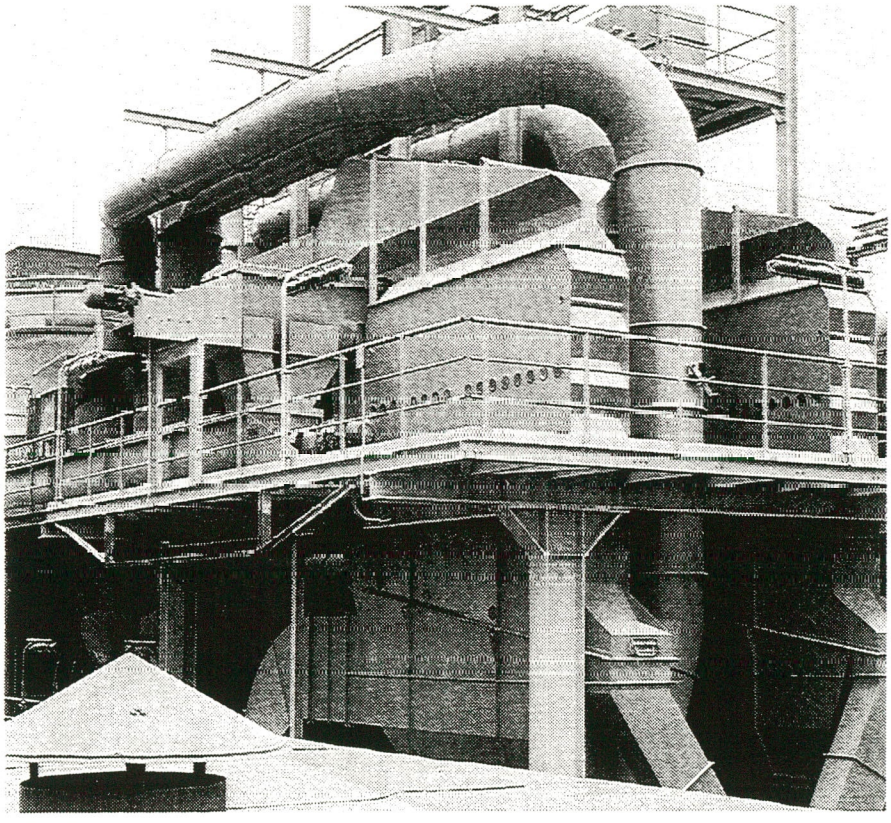
Multi-Plex®-Zickzacksichter

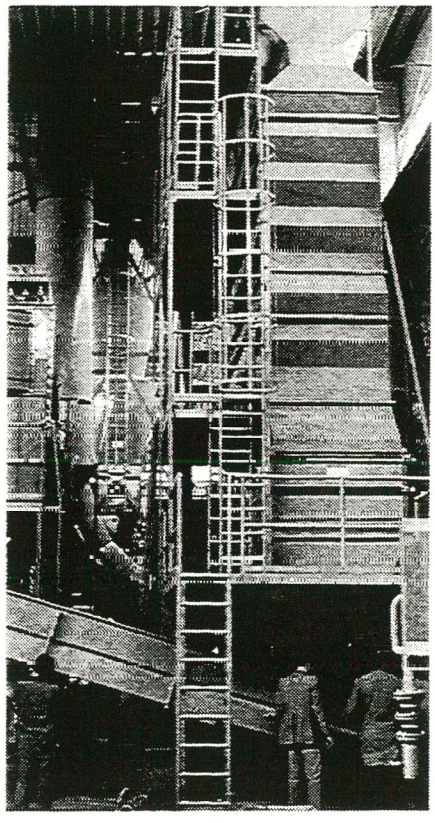
Baureihe MZM, MZF, MZH

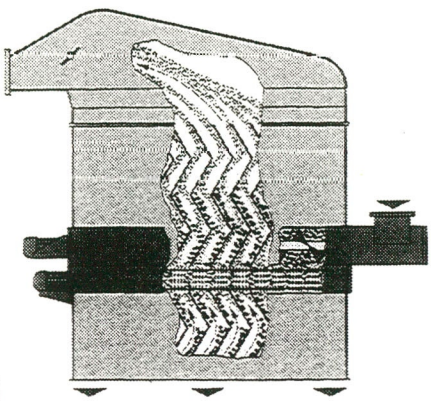
Zickzacksichter liefert Alpine in zwei Bauarten – jede in vielen Größen. Ausgeführt als Einrohr-Sichter oder als Mehrrohr-Sichter.
Je nach Material und Typ sind schärfste Trennungen im Bereich von ca. 0,1 mm ... 10 mm möglich. Der Durchsatz reicht von einigen kg/h bis zu ca. 200 t/h.
☐ Typ MZM (Abb. 1) mit Aufgabeschnecke und Schleuderwalze für faseriges, flockiges, verhakendes Gut.
☐ Typ MZF, MZH (Abb. 2) mit Flugbettrinne für körnige, frei fließende oder mit Luft fluidisierbare Stoffe.

Anwendungen
für die sich Zickzacksichter durch hohe Wirtschaftlichkeit und problemlosen Dauerbetrieb bewährt haben, sind:
☐ Trennen von Gütern, die sich nur schwer oder nicht sieben lassen.
☐ Trennen etwa gleich großer Teile nach spezifischem Gewicht.
☐ Trennen von Teilen der gleichen Siebfraktion nach der Dicke.
☐ Trennen von Massengütern, bei denen das Sieben Schwierigkeiten und hohe Kosten verursacht.

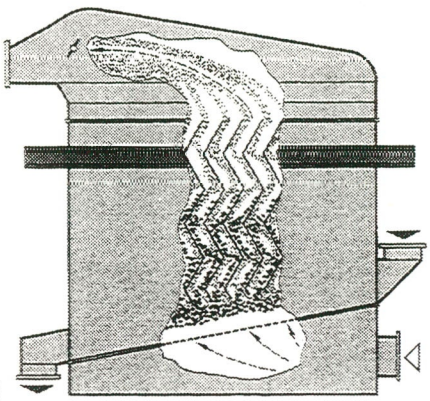
Beispiele
☐ Ölfrüchte: Sichtanlagen für Sojabohnen zur Proteinverschiebung bzw. Proteinanreicherung; Abtrennen der Schalen aufgeschlossener Erdnüsse, Baumwollsamen, Raps etc.
☐ Wertmetalle: Trennen von Kupfer, Alu etc. von der Isolation aus zerkleinertem Kabelschrott.
☐ Entstauben von Kunststoffgranulat, Koks, Kalk, Düngemittel, Bauxit etc.
☐ Abtrennen von Grobteilen aus Mittelschicht- und Deckschichtspänen in der Spanplattenindustrie.



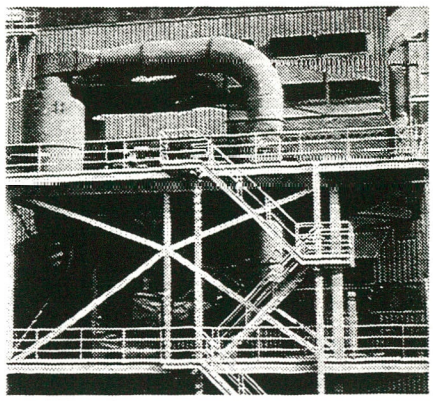


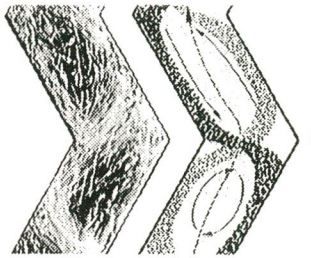


1



2





Schwerkraftsichter mit ungewöhnlichen Eigenschaften
☐ Zickzackförmiges Sichtrohr ohne Einbauten.
☐ Sichtung an jedem Knickpunkt des ZZ-Rohres; daher sehr hohe, beliebig einstellbare Trennschärfe.
☐ Sauberes Feingut bzw. Leichtgut auch bei Überlastung.

Scharfe Trennung im Bereich von d_{97} = ca. 0,1-10 mm
Zickzacksichter liefert Alpine in zwei Bauarten, ausgeführt als Typ MZM oder MZF. Jede Bauart wird in vielen Baugrößen ausgeführt als
- Einrohrsichter oder Mehrrohrsichter.

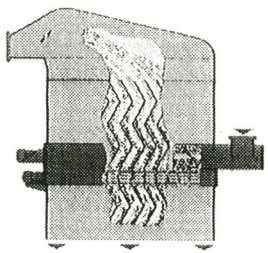
Der Durchsatz reicht von einigen kg/h beim Laborsichter bis zu ca. 200 t/h beim Mehrrohr-Großsichter.

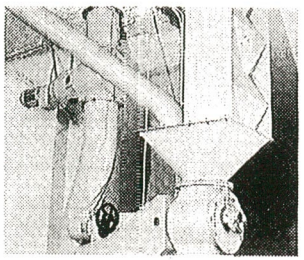
Besonderheiten
Der Zickzacksichter ist:
- in hohem Maß vollkommen wartungs- und verschleißfrei
- sicher gegen Überlastung
- in der Trenngrenze über eine Drosselklappe leicht und stufenlos verstellbar
- unempfindlich gegen Änderungen in der Zusammensetzung des Aufgabematerials.

Wegen der besonderen Eigenschaften ist eine ständige Betriebsüberwachung nicht nötig.
Einmal eingestellt, kann die Sichtanlage ohne Überwachung über lange Zeit betrieben werden.

Bauart MZM
Merkmale: Materialaufgabe in den mittleren Bereich der Sichtrohre.

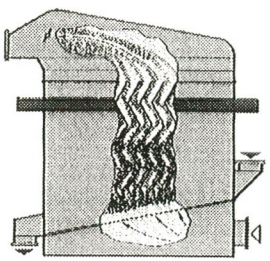
Mit Schleuderwalze zum Auflockern von Stoffen, die faserig oder flockig sind und zum Verhaken neigen.

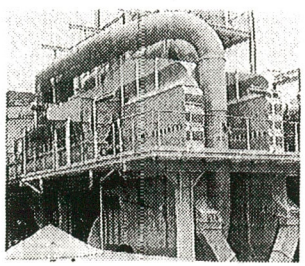


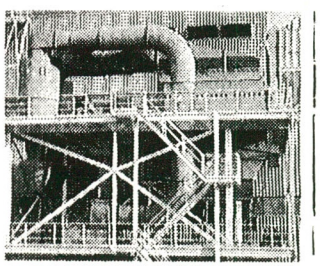


Bauart MZF
Merkmale: Materialaufgabe am unteren Ende der Sichtrohre über eine Flugbettrinne.

MZF-Sichter kommen zum Einsatz für körnige, frei fließende oder mit Luft dispergierbare Stoffe.

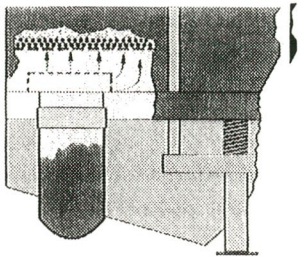






Anwendungsbereiche
☐ Ölfrüchte: Sichtanlagen für Sojabohnen zur Proteinverschiebung bzw. Anreicherung.
☐ Spanplattenindustrie: Grobteile abtrennen aus Mittel- und Deckschichtspänen.
☐ Wertmetalle: Trennen von Kupfer, Alu oder Blei von der Isolation aus zerkleinerten Abfall- und Ausschußkabeln.
☐ Entstauben von Kunststoffgranulat, Koks, Kalk, Düngemitteln, Bauxit etc.

Alpine



Für schwierige Trenn- bzw. Sortieraufgaben
Alpine Lufttrenngeräte bzw. Setzmaschinen sind zur schonenden, zerstörungsfreien Trennung der verschiedenartigsten Materialien geeignet.
Vornehmlich handelt es sich um Trennaufgaben für schwierige Probleme, wo Siebmaschinen, Windsichter oder andere Trenn-/Sortiersysteme ungeeignet sind oder hohe Stör-anfälligkeit zeigen. Lufttrenngeräte arbeiten ohne die Nachteile dieser Geräte.

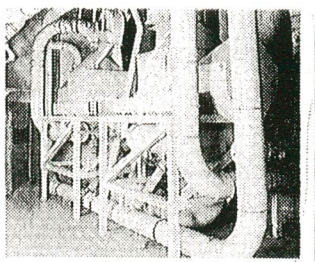
Zur Funktion
Die Arbeitsweise beruht auf einem Setzvorgang, d. h. schwere Teilchen nehmen eine tiefere Lage ein als leichtere Teilchen.

Trennmedium: Typ LT nur Luft; Typ LTK = Luft und ein Kugelbett.

Zahlreiche Baugrößen,
auch für sehr hohen Durchsatz

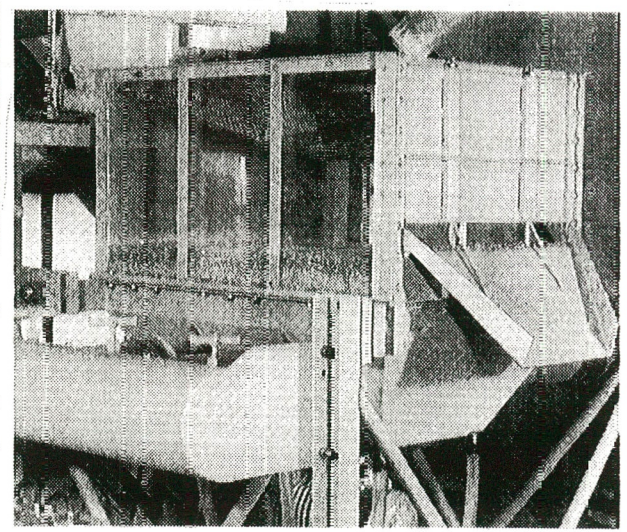
Funktionsmerkmale
☐ Abtrennen von Verunreinigungen, auch sehr kleiner Mengen, die die gleiche Korngröße wie das übrige Material aufweisen, sich jedoch im spez. Gewicht unterscheiden (Siebmaschinen ungeeignet).

☐ Trennen nach der Kornform, z. B. faserige Teile von kubischen Teilen (Siebmaschinen zwar geeignet; Störanfälligkeit gegeben durch Verstopfen oder Verschmutzen der



Luft-Trenngeräte LT
Einsatzbeispiel: Reinigen von Hackschnitzeln.

Luft-Trenngeräte LTK
... wenn es auf größtmögliche Trennschärfe ankommt.
Einsatzbeispiel: Trennen feiner Cu-Litzendrähte von der Isolation.

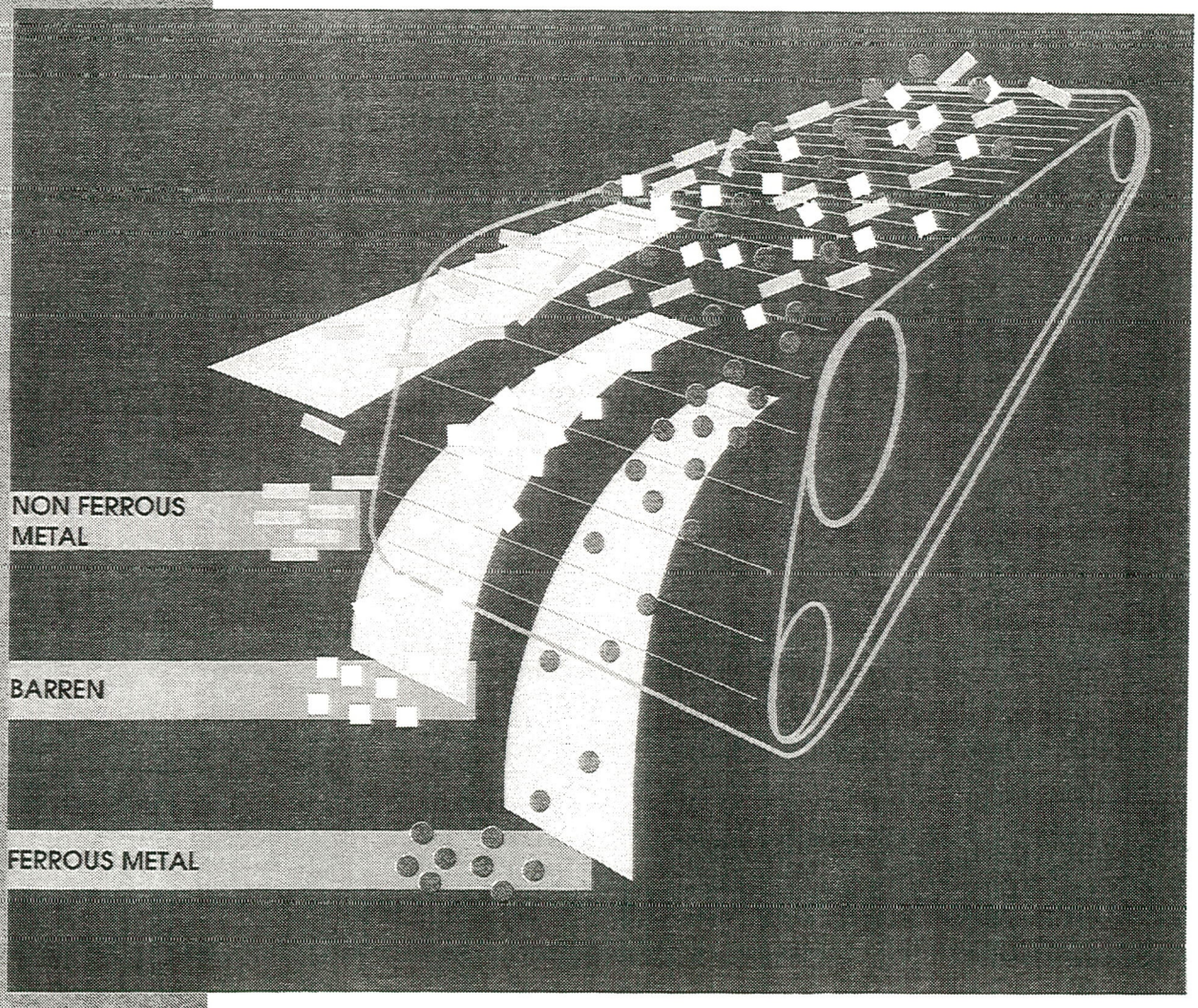


Anwendungsbereiche
- Trennen
- Sortieren
- Reinigen

☐ Wertmetallrecycling: Der Einsatz erfolgt zur trockenen Trennung Wertmetall (Kupfer) von der Isolation aus zerkleinerten und freigelegten Litzendrähten. Das rückgewonnene Wertmetallkonzentrat ist von höchster Reinheit; ebenso ist das Leichtgut (Isolation) extrem frei von Wertmetall.
☐ Hackschnitzel: Zum Abtrennen von Sand, Steinen, Schrauben, Beilagscheiben, Kugeln etc
☐ Pilze: Reinigen von Steinen, Sand etc.
☐ Lederabfälle Reinigen von Metall, Sand etc.

SMA

SEPARATION OF NON FERROUS METALS



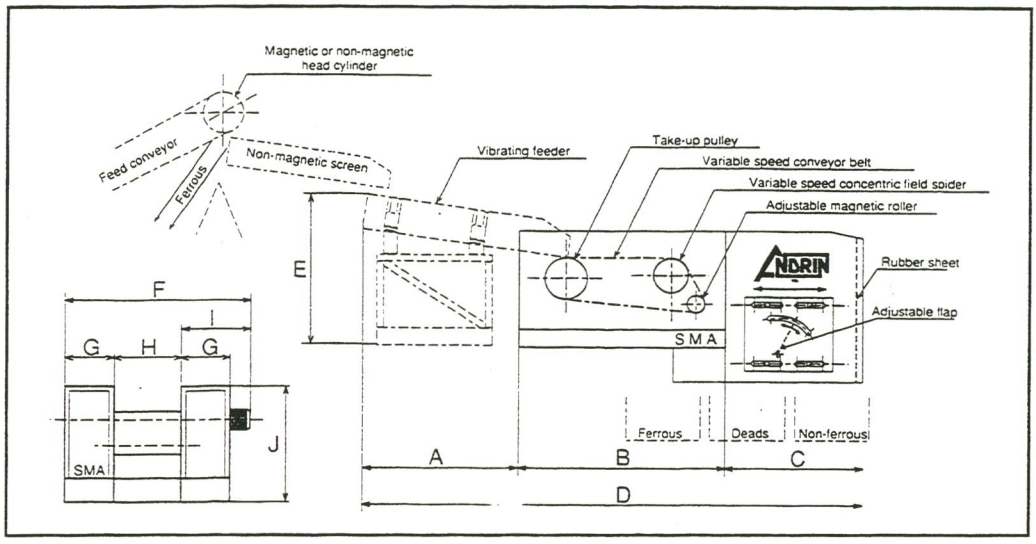
PATENT PENDING

ANDRIN GROUPE

RG SMA - 1 - 93

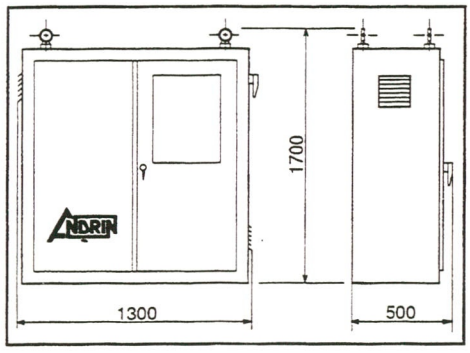
SEPARATION OF NON FERROUS METALS

Model SMA



MONITORING

Regulating switch cupboard



Type :
ACS MA 15
3-Phase power supply :
Standard 220/380 V - 50 Hz or from question
Weight of cupboard :
200 Kg for all models
Paintwork :
Grey RAL 7032 Standard
Max installed load :
15 K VA

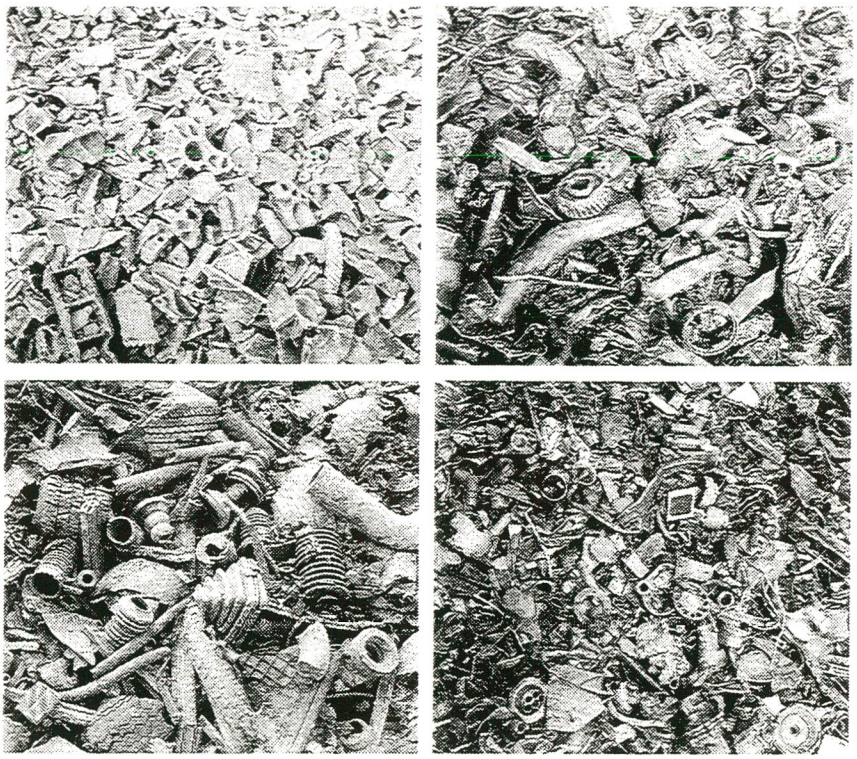
TECHNICAL CHARACTERISTICS

Drive power, space occupied

TYPE	Belt	Polar wheel	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
SMA 40	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	1660	550	400	710	1100
SMA 60	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	1860	550	600	710	1100
SMA 80	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	2060	550	800	710	1100
SMA 100	5,5 Kw	5,5 Kw	1400	2900	2000	6300	1300	2260	550	1000	710	1100
-												
-												

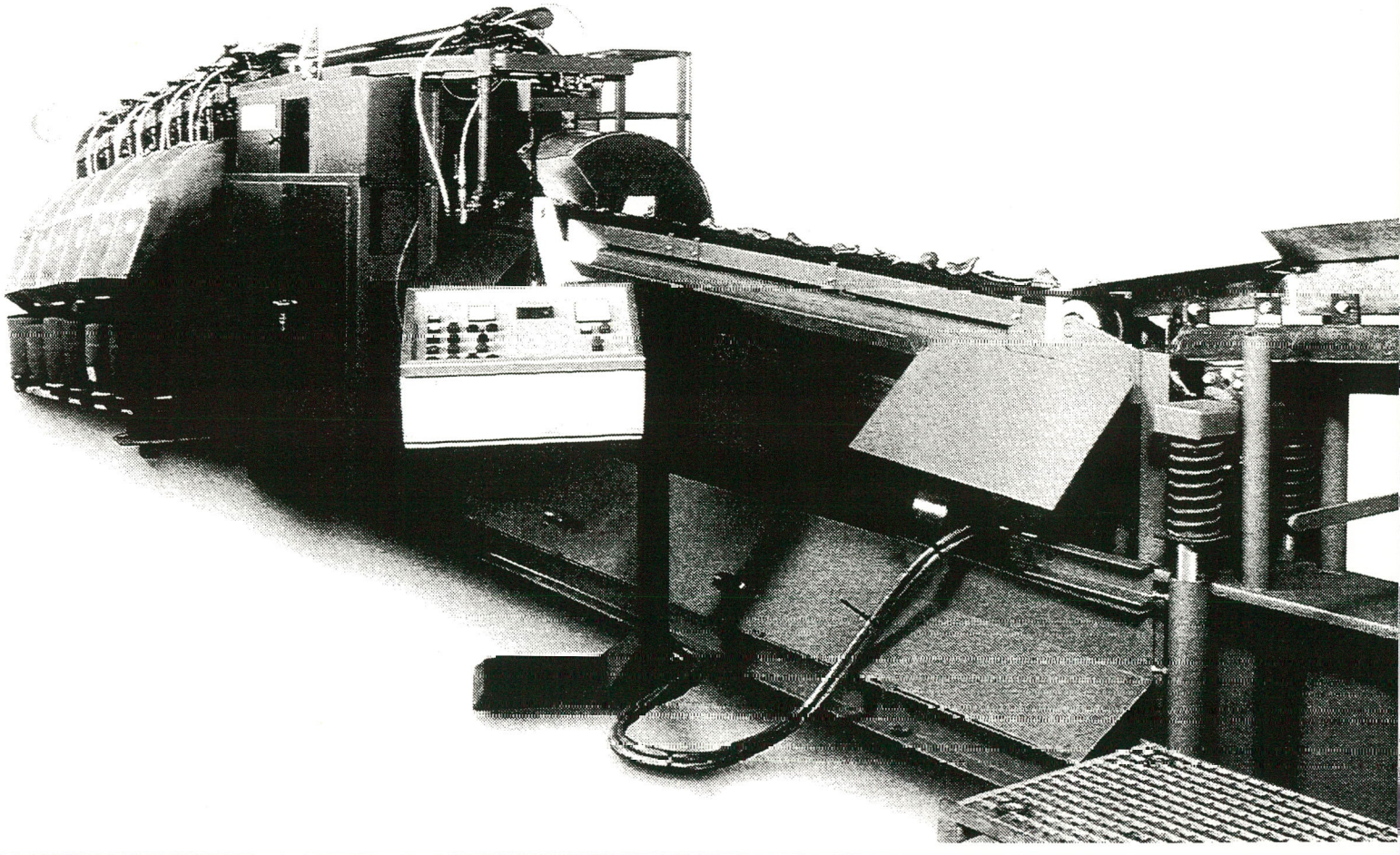
Paintwork : Orange RAL 2004

TYPE	Delivery in m³/h	Density in T/m³	Fonctional widht SMA in mm	Weight SMA in Kg	Vibrating feeder	
					Widht in mm	Weight in Kg
SMA 40	6	1	350	1750	350	
SMA 60	8	1	550	2300	550	
SMA 80	10	1	750	3100	750	
SMA 100	12	1	950	3700	950	
-						
-					OPTION	OPTION



Metal Sorting

AUMUND

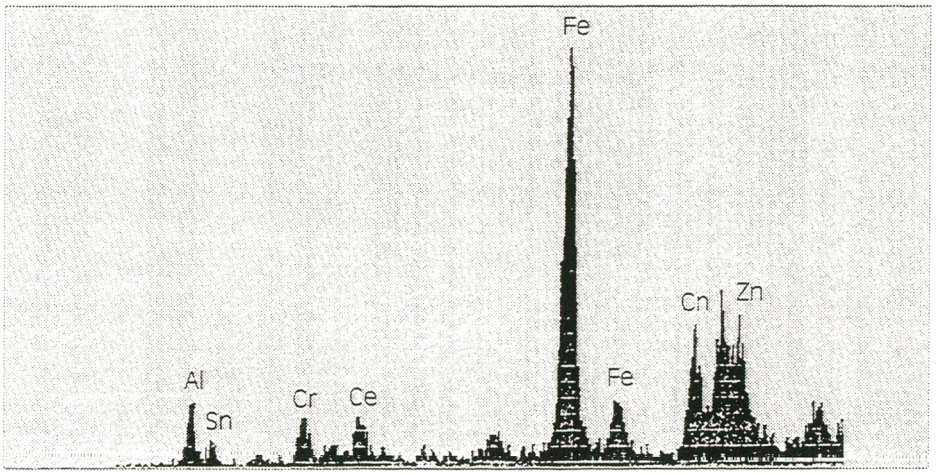


This system permits sorting according to the chemical composition of the metals. The heart of the MSA type sorting plant is an X-ray fluorescent analysis unit with a microprocessor for continuous alloy determination of the shredded metal parts (analysis spectrum). By means of the MSA, analyses of widely varying alloys are carried out extremely precisely. Up to 12 metals, from light and nonferrous heavy metals to heavy metals, are analyzed in one sorting operation. The MSA is, therefore, a productive partner wherever quick sorting of a large number of different materials is required.

Metals that can be sorted with the MSA (standard range):

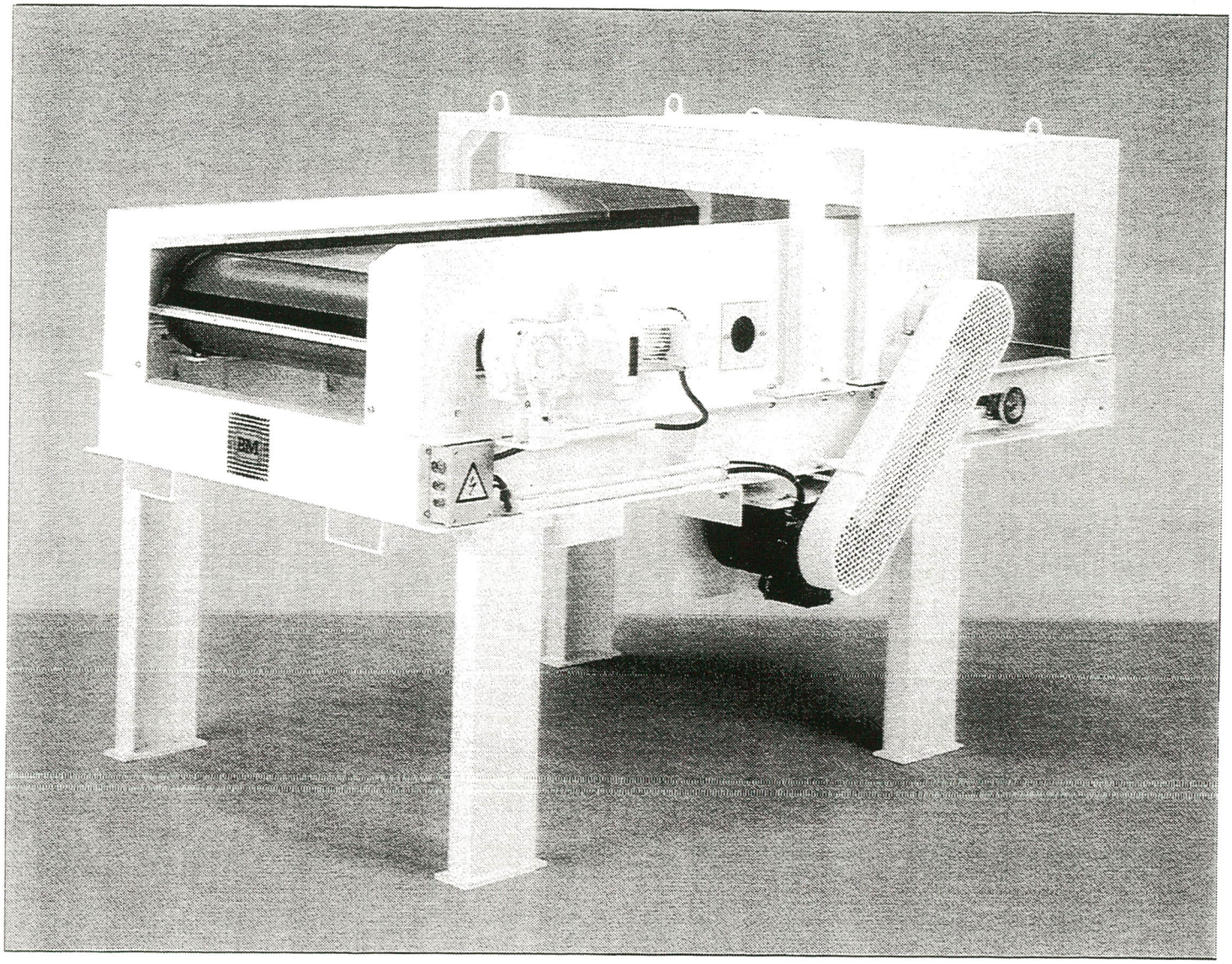
1. Magnesium (Mg)
2. Aluminium (Al)
3. Copper (Cu)
4. Zinc (Zn)
5. Tin (Sn)
6. Brass (CuZn)
7. Bronze (CuSn)
8. Lead (Pb)
9. Nickel (Ni)
10. Manganese (Mn)
11. Chromium (Cr)
12. Chromium nickel steel (CrNi)

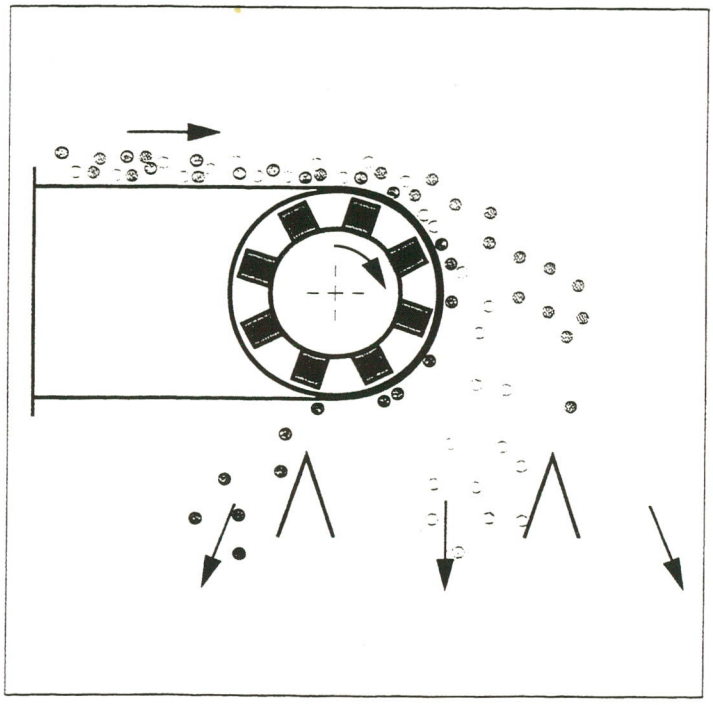
The range can be modified or expanded upon request by the customer



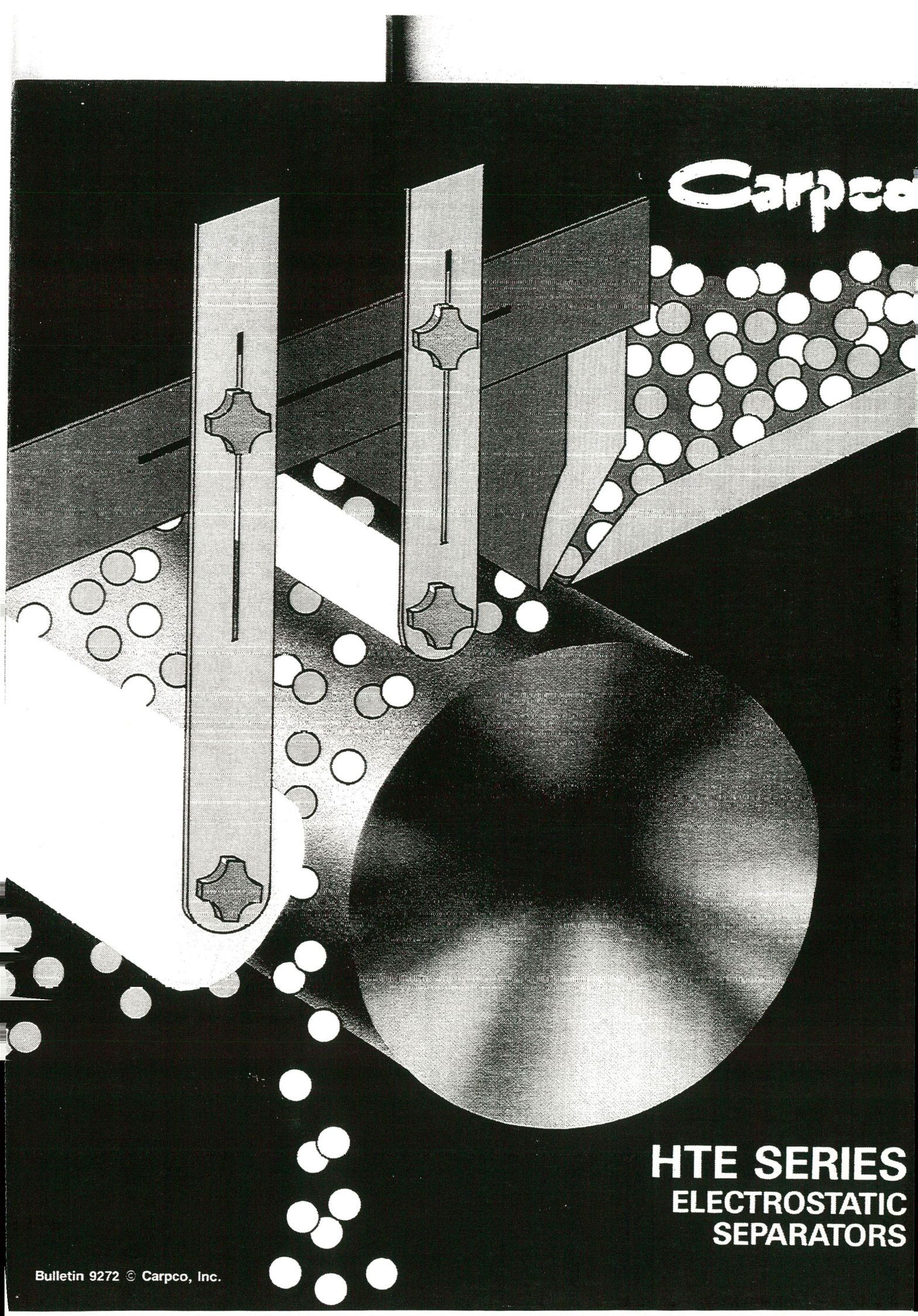
Get to the heart of the matter in 30 Milliseconds.

NON-FERRO SCHEIDINGSSYSTEMEN ECS





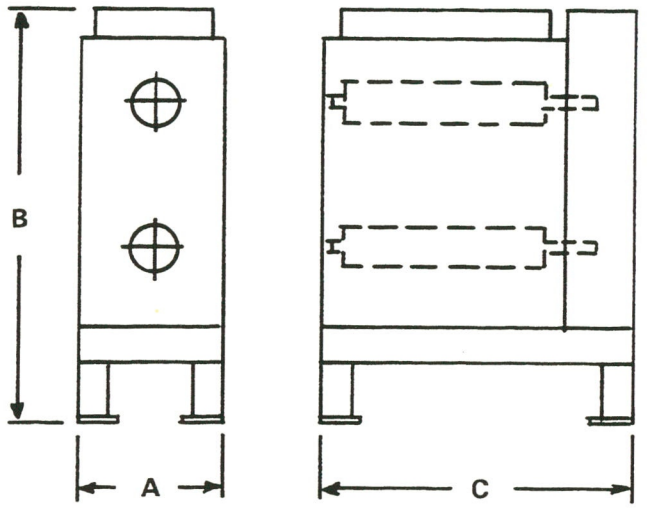
Voor het scheiden van non-ferro metalen uit goederen- en grondstoffenstromen worden door Bakker Madava verschillende systemen geleverd die werken volgens het Eddy Current-principe. De werking van deze systemen, ook wel wervelstroomscheiders genoemd, is gebaseerd op het door middel van een snel wisselend magneetveld opwekken van een elektrische stroom in de te separeren metaaldelen. Metaaldelen met een goede elektrische geleidbaarheid en een lage soortelijke massa, zoals bijvoorbeeld koper en aluminium worden sterk beinvloed door het magneetsysteem. De in het deeltje opgewekte elektrische stroom resulteert in een tegengesteld magneetveld. Hierdoor wordt bewerkstelligd dat de ongewenste metaaldeeltjes met kracht worden afgestoten en afzonderlijk kunnen worden opgevangen van de goederen- of grondstoffenstroom die bij voorbeeld in een vrije val van een transportband afvallen.
Bakker Madava non-ferro metaalscheidingssystemen kunnen compleet met trilgoot, bandtransporteur, magnetische rol en aandrijving worden geleverd. Desgewenst geheel aangepast aan de eisen van nagenoeg iedere toepassing, in capaciteiten van 5 tot 12 m^3 per uur.



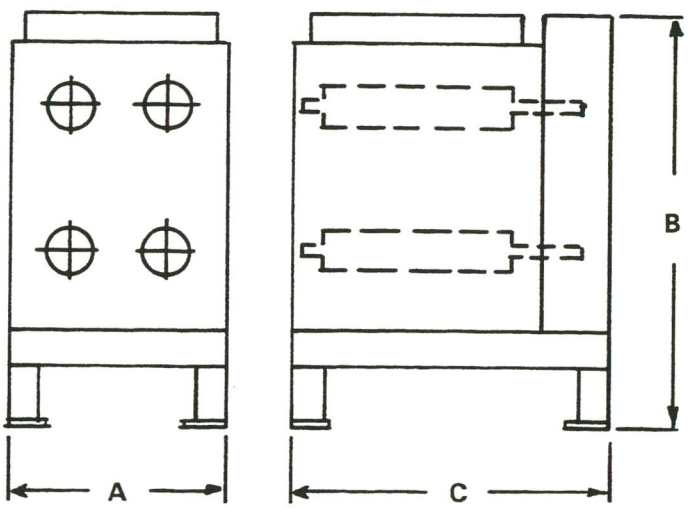
HTE SERIES
ELECTROSTATIC SEPARATORS

Bulletin 9272 © Carpco, Inc.

SPECIFICATIONS: HTE SERIES



SINGLE



DOUBLE

MODEL NO.	DIMENSIONS (MM/IN.)			MOTOR DRIVE(S) (HP)	TOTAL POWER (kW)	NET WEIGHT (kg/lbs.)	GROSS WEIGHT (kg/lbs.)	SHIPPING CUBE (m^3/ft^3)
	A(WIDTH)	B(HT)	C(LENGTH)					
PILOT PLANT HTE(36)111-46	1,219 / 48	2,110 / 83	1,435 / 56.5	0.75	2.0	930 / 2,050	1,157 / 2,550	6.0 / 210
PILOT PLANT HTE(36)121-46	1,219 / 48	3,073 / 121	1,359 / 53.5	1 x 2.0	3.3	1,905 / 4,200	2,313 / 5,100	8.5 / 300
INDUSTRIAL HTE(36)111-150	1,219 / 48	2,210 / 87	2,430 / 95.5	1 x 1.5	2.4	1,116 / 2,460	1,558 / 3,435	10.2 / 360
INDUSTRIAL HTE(36)121-150	1,219 / 48	3,072 / 121	2,430 / 95.5	1 x 3.0	3.7	2,451 / 5,800	3,084 / 6,800	13.2 / 470
INDUSTRIAL HTE(36)221-150	2,390 / 94	3,250 / 128	2,430 / 95.5	2 x 3.0	6.3	5,084 / 11,200	5,760 / 12,700	24.4 / 860

Notes:
1. Shipping space and gross weight include high voltage supplies and control console.
2. All HTE series separators are supplied for operation at 240/480 VAC, 50/60 Hz, 3 phase mains (single phase for models with DC drives.)
3. All specifications are subject to change without notification.

Recognized Leader in Separation Technology

Carpco, Inc.®

4120 Haines Street
Jacksonville, Florida
U.S.A. 32206
904/353-3681
Telex. 5-6367
Fax (904) 353-8705

Represented by:

Carpco APPLICATION SHEET Humphreys

ELPAC METAL DETECTOR FOR CLEANING CHOPPED "PET" BOTTLES AND RECYCLED PLASTICS

INTRODUCTION

Carpco HTE Series Electrostatic Separators are accepted by "PET" bottle recyclers worldwide for efficient removal of aluminum contamination from "PET" flake. Carpco, continuing to serve the plastics recycling industry, is pleased to introduce a new patented metal detection system as a companion unit to the HTE Series Electrostatic Separators. The Carpco/MSS ELPAC (Electro-Pneumatic Aluminum Concentrator) reduces the aluminum content of electrostatically cleaned PET from 100 ppm to less than 10 ppm with less than 2% weight rejection. Conventional deflector or cup-type metal detectors reject as much as 15-25% good PET flake to remove the same amount of metal!

This new generation of metal detector/separator is capable of processing other scrap plastics including:

- High-Density Polyethylene (HDPE)
- Polyethylene (PE)
- Polyvinylchloride (PVC)
- Polystyrene (PS)
- Polypropylene (PP)

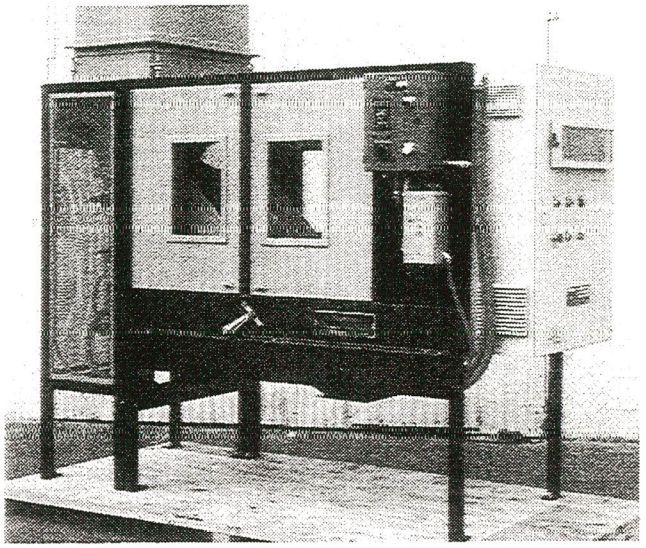
Contaminants such as aluminum foil, stainless steel fasteners and other non-ferrous materials are easily removed with minimal loss of recyclable plastic, raising extruder production rates and reducing screen changes.

The Carpco/MSS ELPAC unit (licensed technology developed by Magnetic Separation Systems, Inc.) detects metal from a flowing "sheet" of plastic particles with a unique sensor array which is electronically monitored. When one of the sensors detects a metallic particle, a powerful microprocessor turns on a corresponding air jet in the vicinity of the detected particle. The jet of air propels the metallic particles out of the flowing bed of plastics. Only a few grams of plastics are removed to capture the metallic particle.

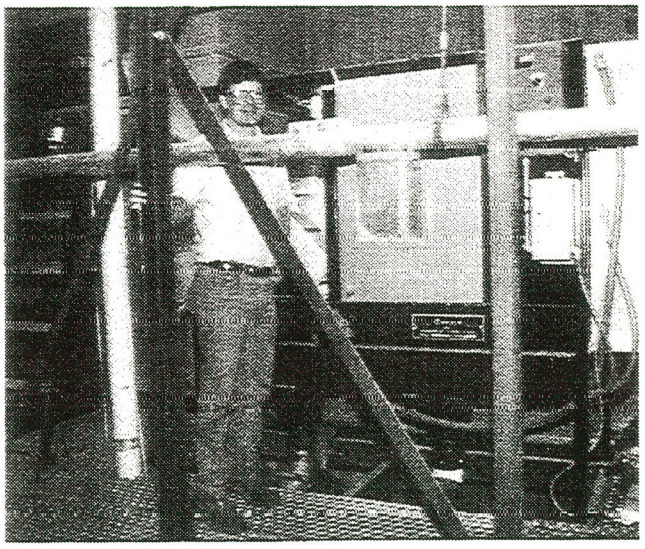
Additional information on the HTE Series Electrostatic Separators and ELPAC combination for processing PET is available on request.

BENEFITS

- Dry process; no effluent or waste water disposal required
- Low power consumption (0.7 KW)
- High-efficiency removal of remaining aluminum (+95%)
- Minimal PET flake loss, less than 2%
- Automated operation and control features
- Minimal operator attention
- Powerful microprocessor controllers
- No moving parts
- No apertures to clog or block
- Unit capacity: EL-800P 2,000 lbs/Hr
  EL-1500P 4,000 lbs/Hr



The new ELPAC metal detector is designed for removal of aluminum and other nonferrous contaminants from chopped PET, HDPE, PVC and recyclable plastics. The unit reduces metal contaminants below 10 ppm with minimal weight loss. Model shown is the EL-800P with a capacity of 2,000 pounds per hour. Other sizes are available.

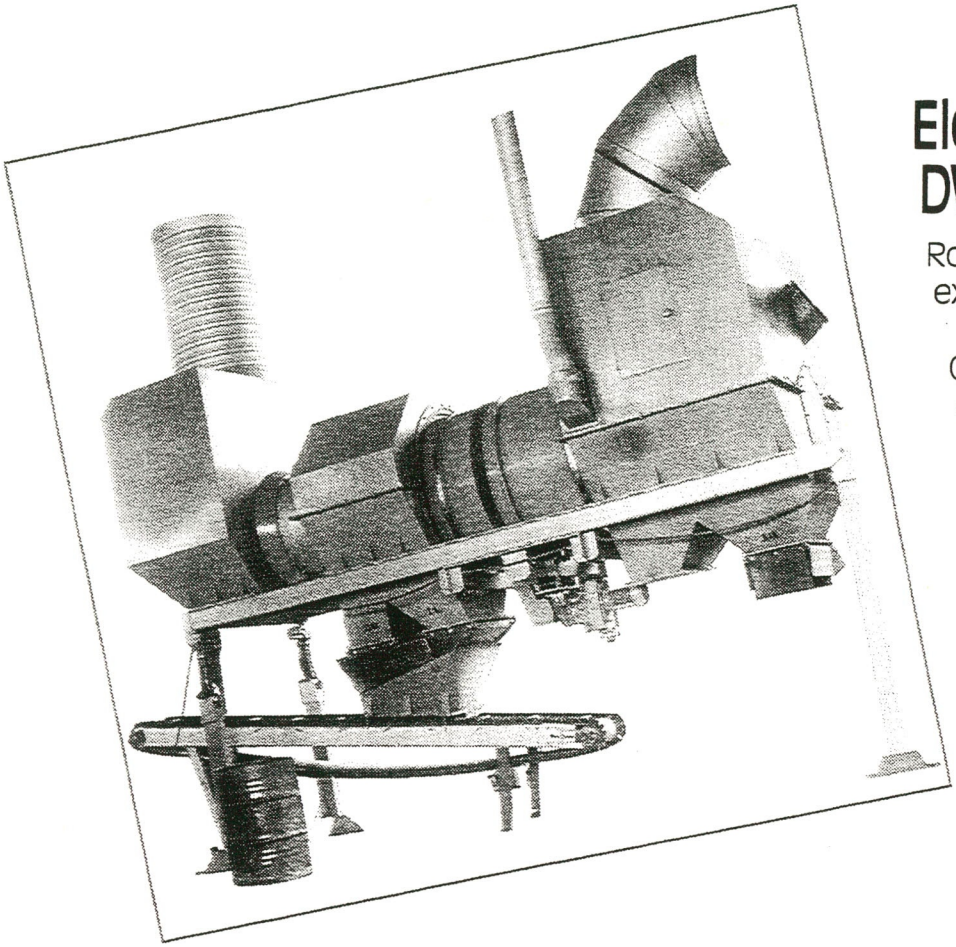


ELPAC Model EL-800P installed at wTe Recycling/STAR plant in Albany, NY. Unit processes 2,000 pounds per hour of PET flake reducing aluminum content to less than 10 ppm. The ELPAC was found to pay back in less than six months with screen pack savings alone. (Photograph courtesy of wTe Recycling/STAR.)

Eldan recycling systems

proudly present...

tionary designs...

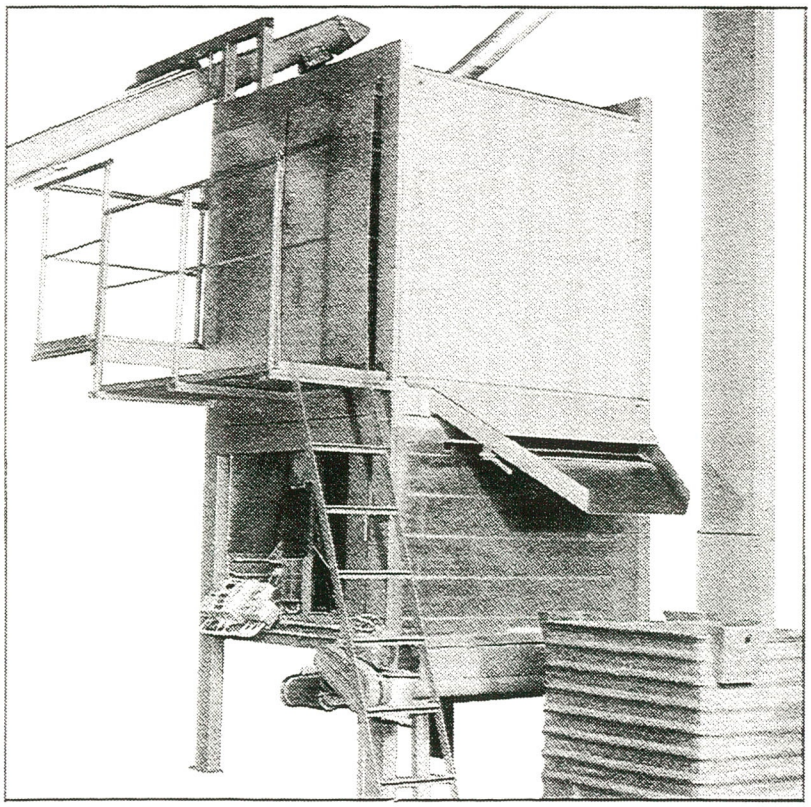


Eldan drumwindscreen DWS 12-6-10

Rotating drumwindscreen for either exhalation or inhalation of air.

Constructed for optimum separation of light particles from heavy. Ideally suited to the separation of metals, the cleaning of shredded metals and the separation of organic material from, for example, metals.

An essential unit in all shredder plants dealing with complex scrap and underground cables.



Eldan Pb/Cu separator

Thanks to the DELCO Pb/Cu separator, it is now possible to mechanically separate mixed granulates composed of copper and lead.

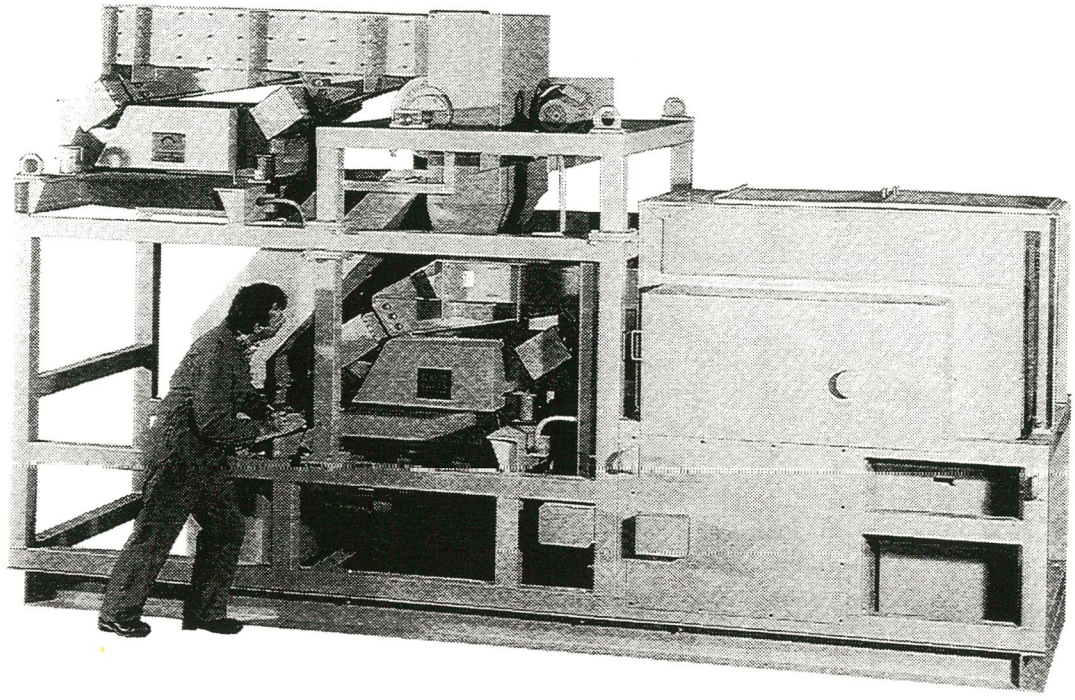
The process is automated, and the power consumption is as low as 2kW. The process capacity is around 500 – 800 kg.p.h.

RECLAIMING
WORLD
RESOURCES

Eddy Current Separators Non-Ferrous Metal Separation...

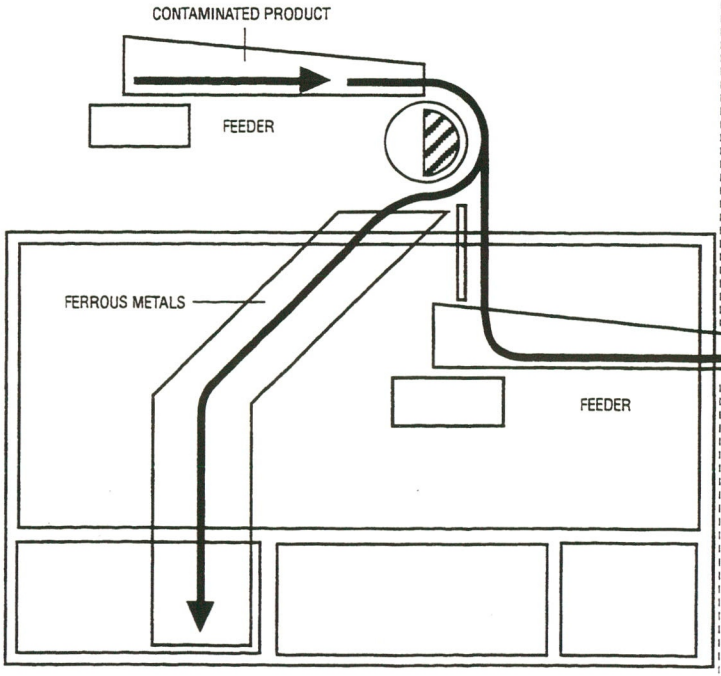
Metal Separation Systems

– Incorporating the Eriez Cotswold Model



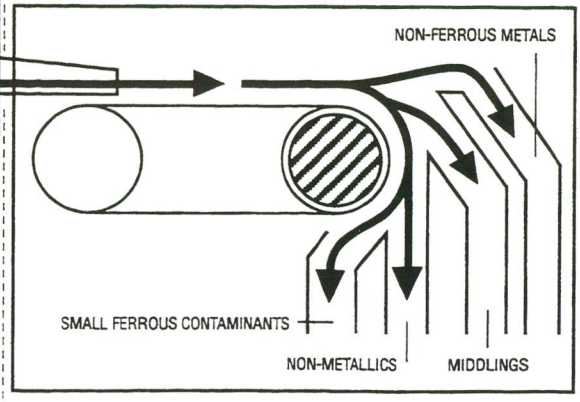
Ferrite or R.E. Drum Separator

For removal of Ferrous Metals



Eddy Current Separator

For Removal of Non-Ferrous Metals



OT

HIGH POTENTIAL
DOUBLE-ELECTRODE DESIGN

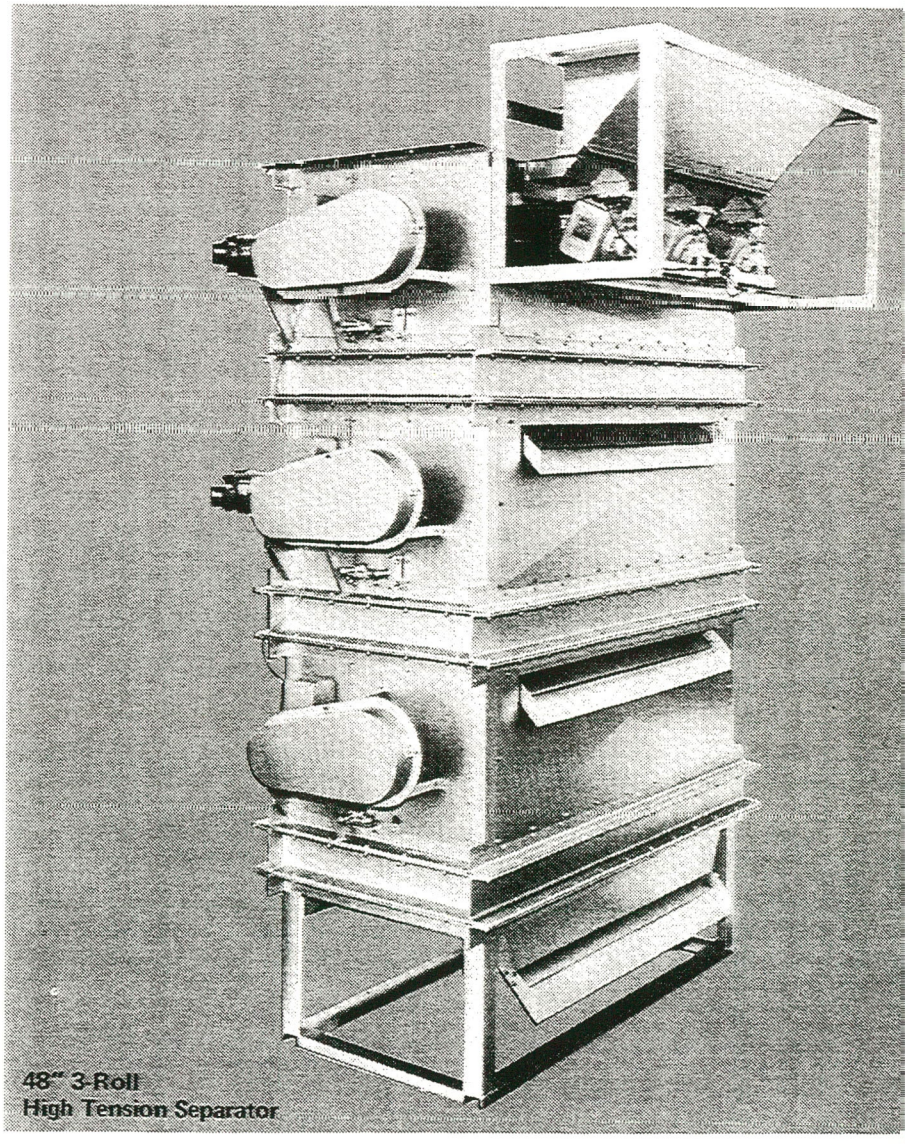
electrodynamic separators

ERIEZ MAGNETICS®

Highly efficient industrial units for separating materials based on differences in electrical conductivities.

FEATURES

- **Arcless electrodes**
- **Easily adjustable splitters**
- **Variable speed drives on each rotor**
- **Solid state power supply**
- **Severe-duty construction**



48" 3-Roll
High Tension Separator

Efficient, advanced design, proved-in-operation laboratory and pilot plant equipment for a wide variety of materials and applications

The equipment briefly described on the following pages is used routinely in Eriez' own Test Laboratory, where hundreds of tests of customers' samples are conducted yearly. Many other units are at work in universities, commercial testing laboratories and industrial installations throughout the world.

For complete information on any equipment of interest to you, write or call Eriez Magnetics, Asbury Road at Airport, Erie, Pennsylvania 16514 U.S.A.
Phone 814-833-9881 Telex 91-4470
Fax 814-838-4960

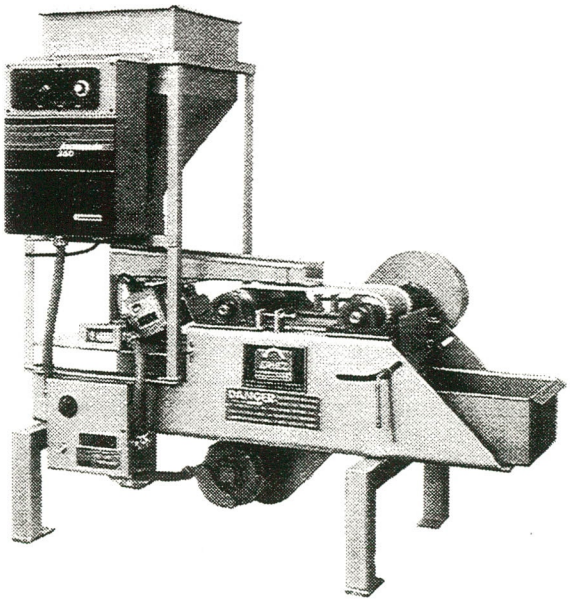
RE Roll Magnetic Separators

HIGH GRADIENT PERMANENT MAGNETIC SEPARATORS FOR THE SEPARATION OF PARAMAGNETIC MATERIALS

Eriez Rare Earth Roll Separators utilize high energy rare earth ceramic magnets to form an extremely powerful high gradient magnetic circuit. Two varieties of rare earth materials and numerous belt material options are available which gives this unit the flexibility to handle a wide variety of applications. In addition, the RE Roll radial circuit design can be utilized with various ferrite magnetic materials giving a lower cost option for ferromagnetic materials.

The RE Roll utilizes a rare earth magnetic head pulley in widths up to 40" (1016 mm). Product is fed to the belt by an Eriez electromagnetic vibratory feeder. The Eriez control, stepless from 0 to 100% of capacity, provides precise adjustment of material flow.

Depending upon the application, one, two or three rolls may be required in the separator. Feeds from ½" (13 mm) down to very fine material can be handled and capacities range up to 10 tph.

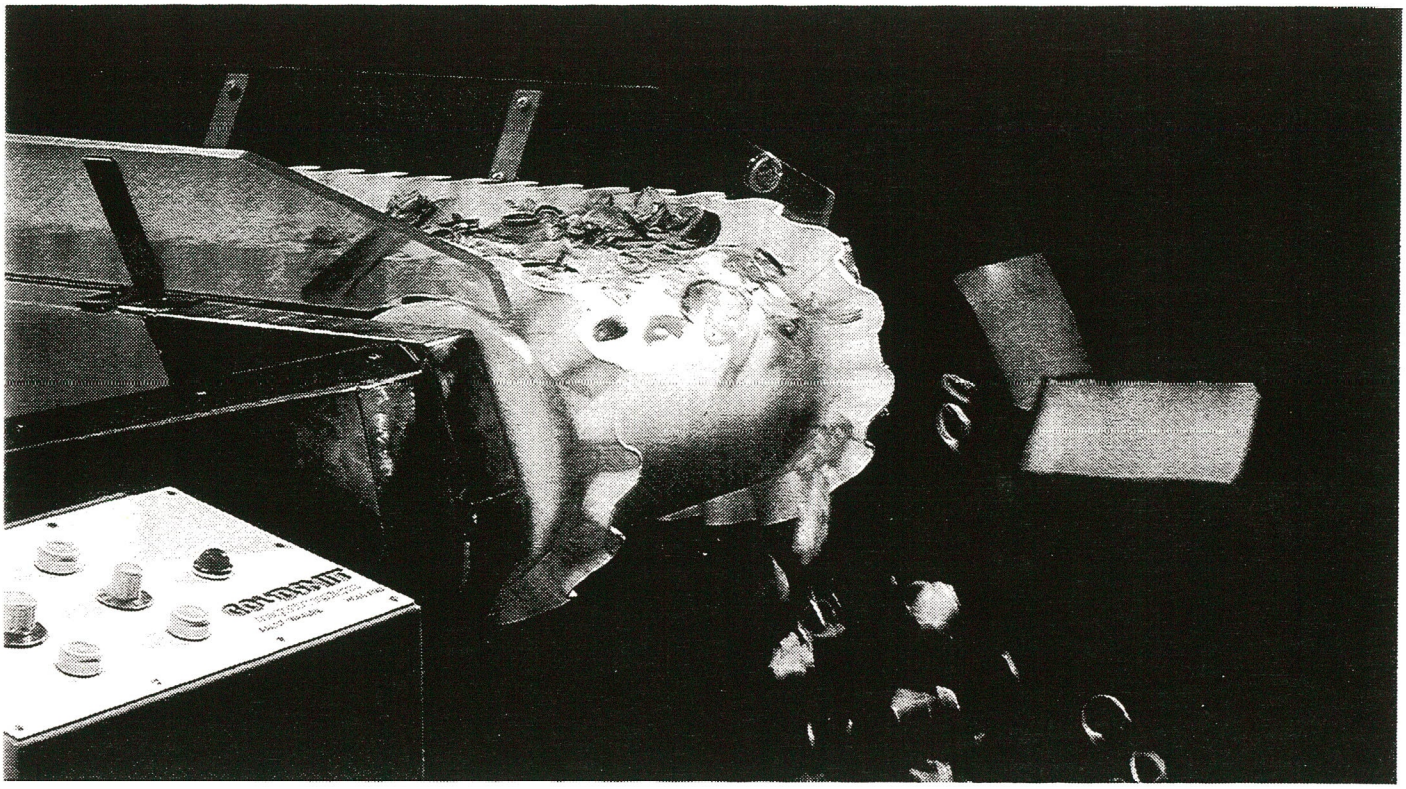


© ERIEZ MAGNETICS 1990 ALL RIGHTS RESERVED

GOUDSMIT

magnetic systems

Non-ferro Scheider



De non-ferro scheider zorgt voor het separeren van bijvoorbeeld aluminium en koper.

De Goudsmit non-ferro scheider kan worden ingezet bij het separeren of terugwinnen van non-ferro metalen zoals aluminium of koper uit te recyclen produkten of bulk-materialen. Volgens het Goudsmit principe worden de magnetiseerbare materialen zoals ijzer en blik vooraf magnetisch verwijderd. Dit verbetert de non-ferro scheiding. Bovendien zorgen ijzerdelen voor een grotere slijtage. De toepassings-gebieden voor de non-ferro scheider zijn talrijk: autoschrot, kabelafval, glas, etcetera.

Wervelstroomprincipe

Wanneer in een elektrisch geleidende massa door een veranderend magnetisch veld een spanning opgewekt wordt, dan zijn daarin wervelstromen aanwezig. Elke wervelstroom wekt een eigen magnetisch veld op. Dit magnetisch veld is tegengesteld gericht aan het oorspronkelijk veld. Dit heeft tot gevolg dat elektrisch geleidende voorwerpen - in dit geval de non-ferro metalen - uit het magneetveld worden gestoten en worden weggeslingerd.

Opbouw

De non-ferro scheider is voorzien van een transportband met een breedte van 400 mm en is regelbaar van 0,2 - 0,5 m/seconde. Aan het einde van de band is een snel-roterende Neoflux® magneetrol gemonteerd. Deze supersterke magneetrol wekt de wervelstromen op. Het toerental van de rol kan opgevoerd worden van 0 - 2800. De wervelstromen wekken een tegen-gesteld magneetveld op waardoor de non-ferro metalen van de rol wegschieten. De bijbehorende schakelkast bevat een band- en magneetrol snelheidsregelaar en een start/stop knop met lichtindicator. Andere afmetingen en snelheden kunnen naar wensen en eisen van de gebruiker vervaardigd worden.

ANDERE ONTIJZERINGS-SYSTEMEN

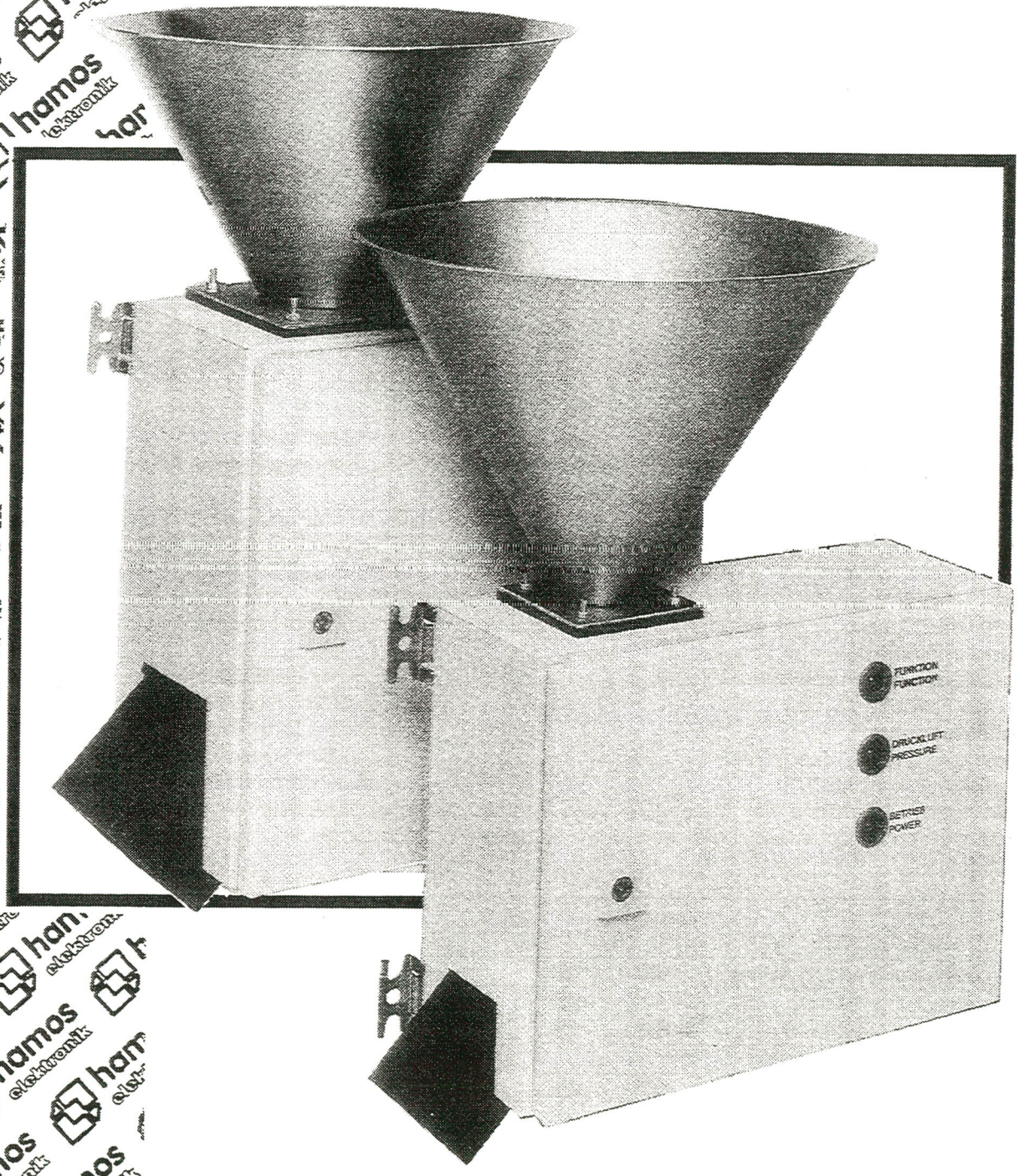
Dit is slechts een greep uit ons zeer brede assortiment magnetische ontijzeringssystemen. Ieder ijzer- of metaalprobleem vraagt om een specifieke toepassing. Het bieden van een bedrijfsgerichte oplossing is de kracht van Goudsmit Magnetic Systems. Onze technische adviseurs en verkoopteam staan graag voor u klaar.

Goudsmit
Magnetic Systems B.V.

Petunialaan 19
P.O. Box 18 - 5580 AA WAALRE/Holland
Tel.: +31-(0)4904 - 13283 - Tlx.: 51991
Fax.: +31-(0)4904 - 17325

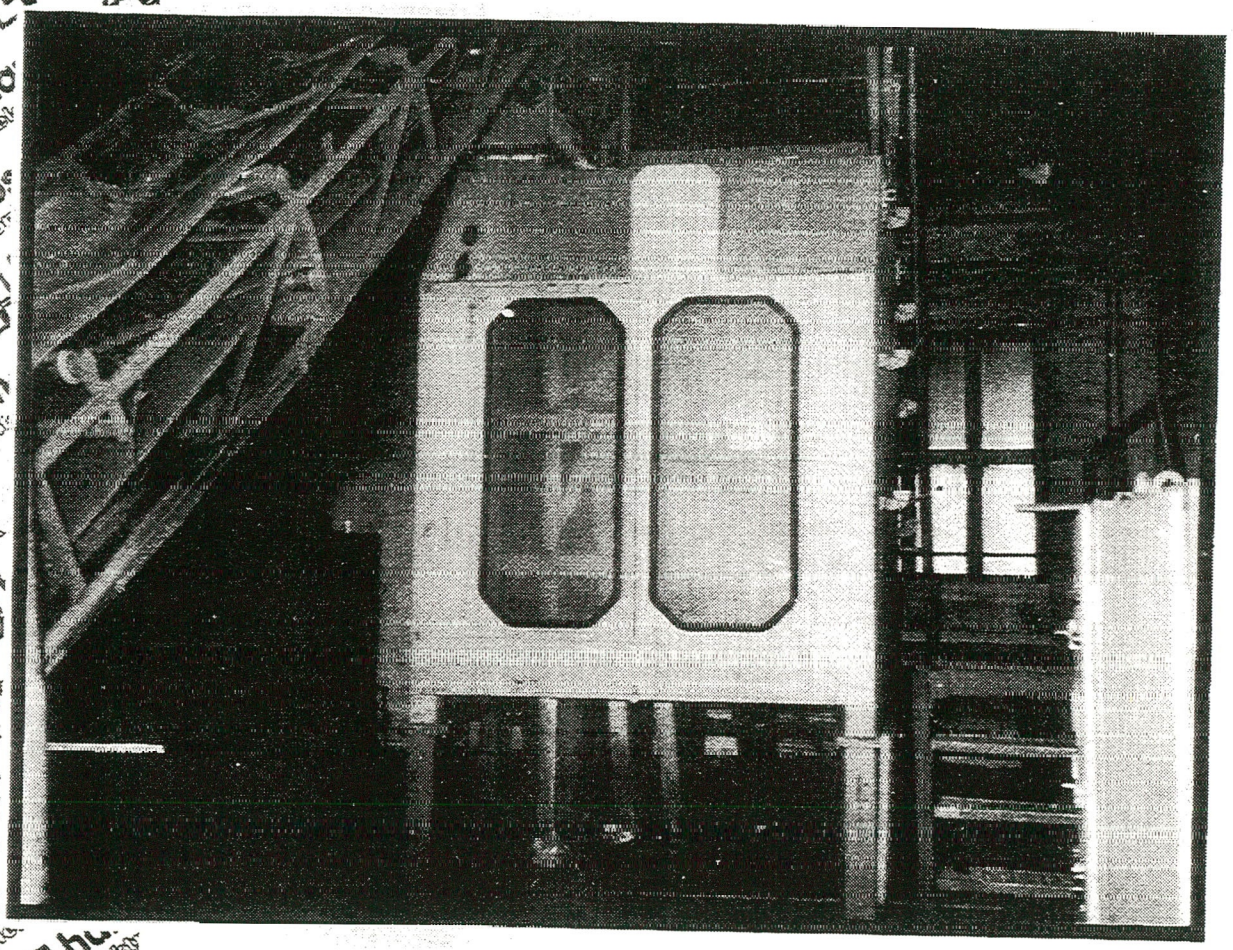
PRINTED IN HOLLAND NR. 91 / 19

Allmetall- Separatoren
Serie HS
Für freien Fall



hamos
elektronik

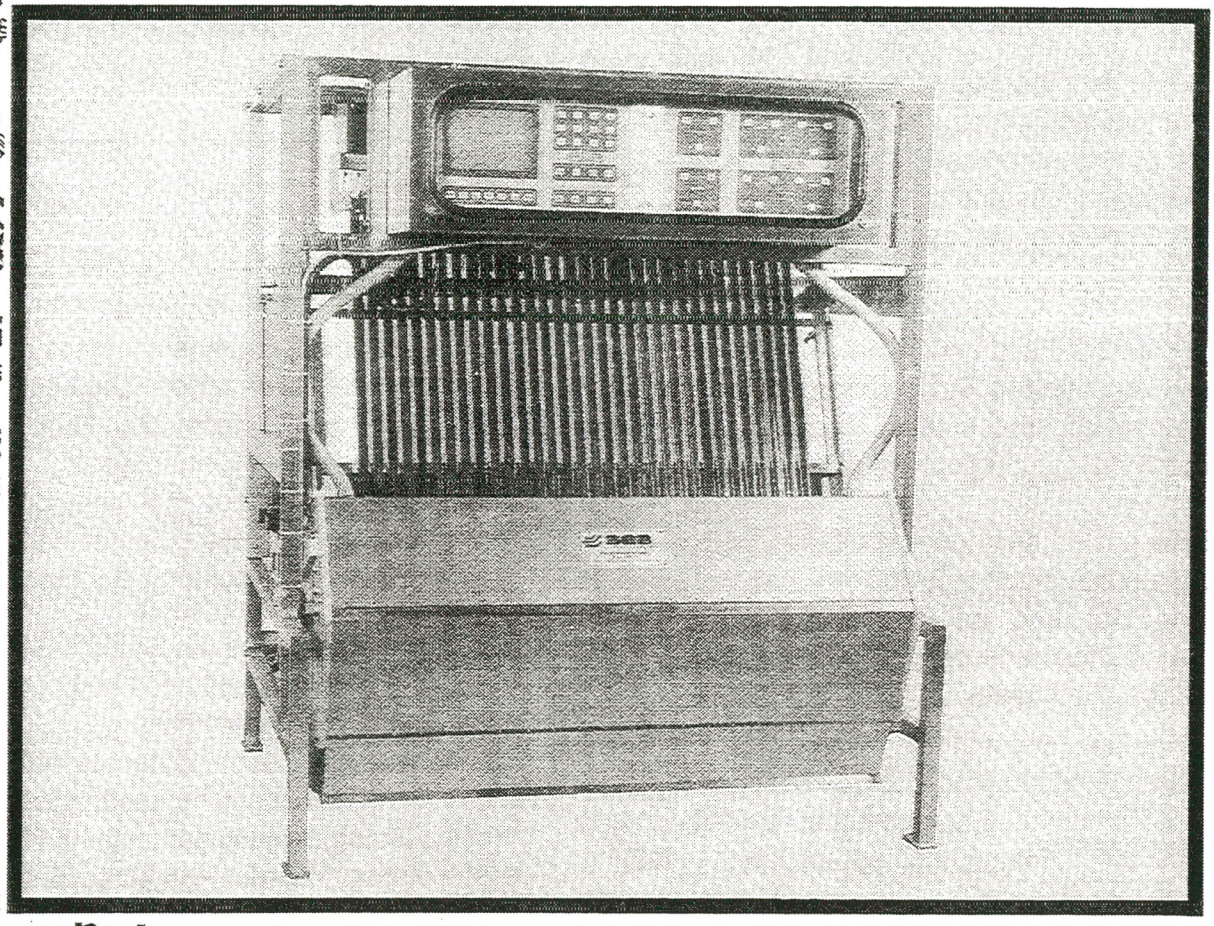
Electro-static Separators for Cable Recycling Series KWS



hamos elektronik

Wir entmetallisieren Schüttgüter

Opto-Elektronische Farbsortiermaschinen für Lebensmittel



hamos elektronik

Wir entmetallisieren Schüttgüter

sea s.n.c.

SOCIETÀ PER L'ELETTRONICA APPLICATA

93/05739

LINDEMANN

NE-Metallscheider

mit Elektro- und Permanentmagneten

NE-Metall-Aufbereitungsanlagen

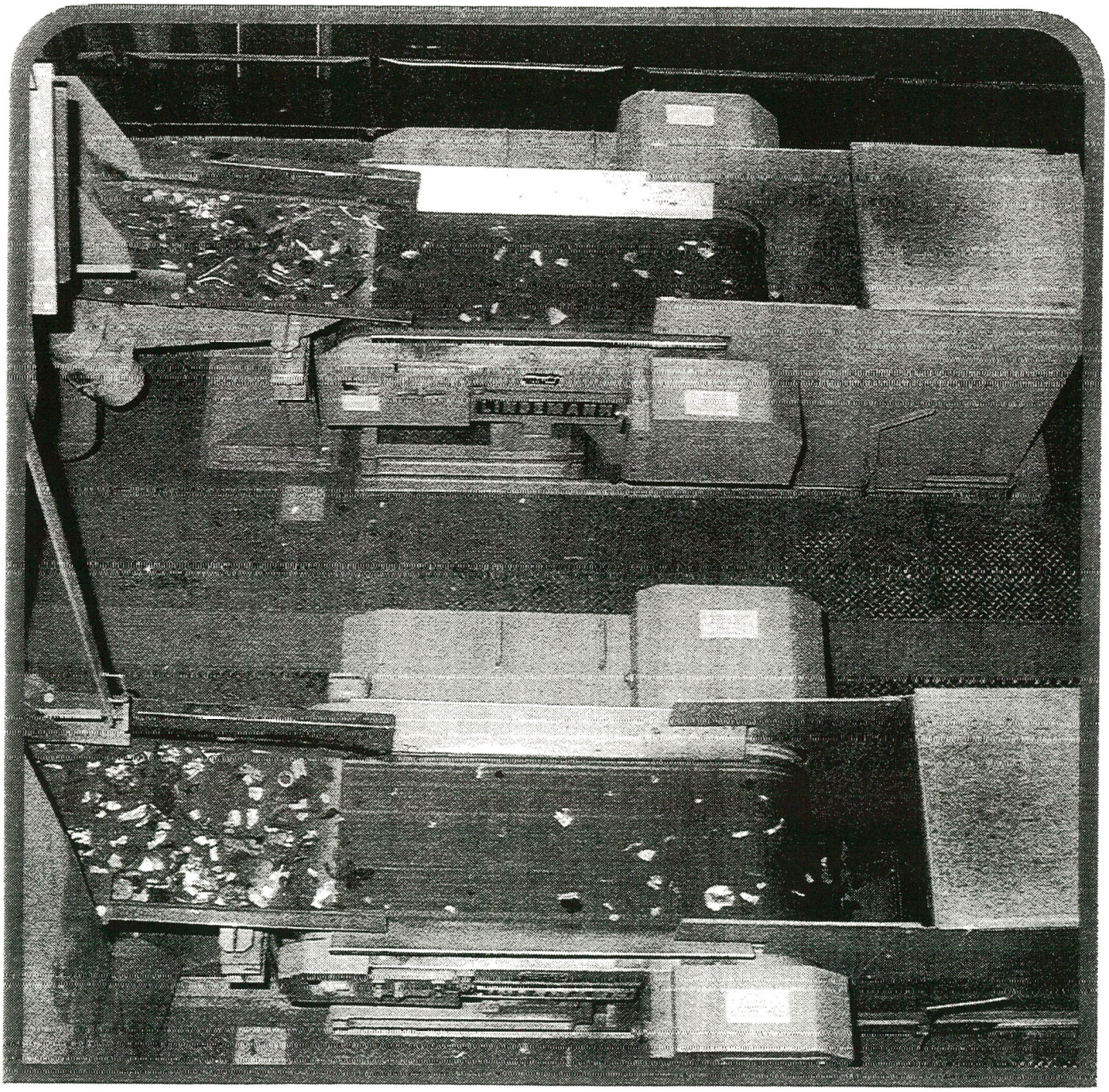
Non-Ferrous Metal Separator

with Electric and Permanent Magnets

Non-Ferrous Metal Processing Plants

Séparateur de métaux non-ferreux à électro-aimant et aimant permanent

Installations de séparation des métaux non-ferreux



Newell Engineering

NON-FERROUS SEPARATOR

Newell Engineering specialise in the development and application of new technology systems for the separation and recovery of high grade recyclable material from solid and industrial waste to scrap. The application of the latest rare earth permanent magnet technology is the basis of the Newell "Black Magic" Eddy current magnetic separations. This technology is now in use in plants throughout the World. Examples of applications so far in use are:-

- On line separation of non ferrous metals from auto shredder residue lines on both non ferrous metal and "fluff" lines.
- Separation of non ferrous "fine" fraction from heavy media flotation plants.
- Separation of non ferrous metals from solid waste incinerator ash residue lines.
- Separation of non ferrous drosses from foundry sand.
- Separation of contaminates from non ferrous scrap prior to pre-melting processing.
- Sortation of ferrous and non ferrous containers from co-mingled solid wastes.
- Extraction of metallic contamination from process lines.

Non-Ferrous separator at heavy media flotation plant

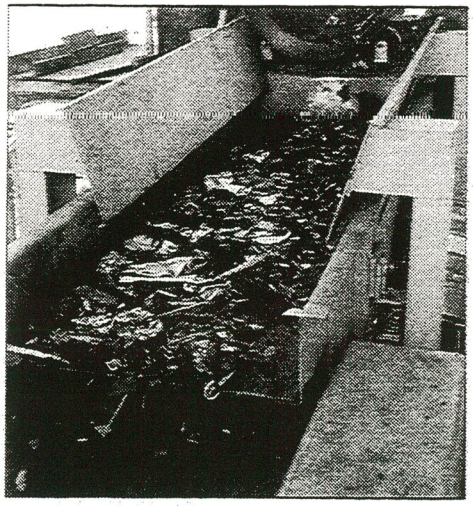


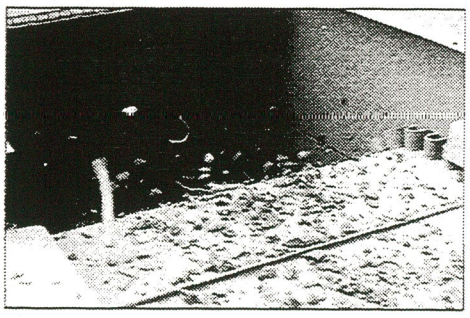
The Newell Non Ferrous Separator offers a low cost, low energy system for separation of non ferrous metals from ferrous contaminates and non metallic materials. It is effective over a size range of 3mm to 150mm (⅛"–6") and, because of the unique features provided in the design of the equipment, it can be configured to give a high purity product which is better than 98% free from contamination.

The equipment has built in as standard the following features which permit the operator to optimise separation efficiency for each type of material:-

1. Reversible magnetic drum to permit optimum separation of fine material.
2. Variable speed inverter control of magnet system rotational speed.
3. Variable speed inverter control of conveyor belt speed.
4. Independent discharge chutes for collection of ferrous, non metallic and non ferrous materials.
5. Adjustable discharge gates for ferrous and non ferrous discharge chutes.
6. Multiple guarding of conveyor belt and drum to prevent damage by ferrous metal particles adhering to the magnetic drum.

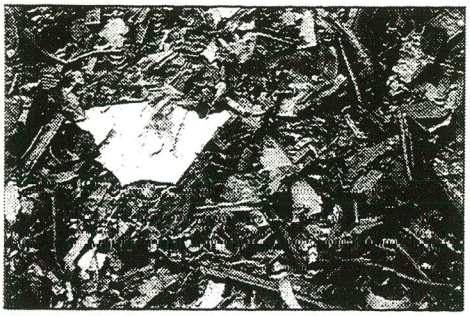
Typical installation of separator on Non-Ferrous residue line of Auto-Shredding Plant





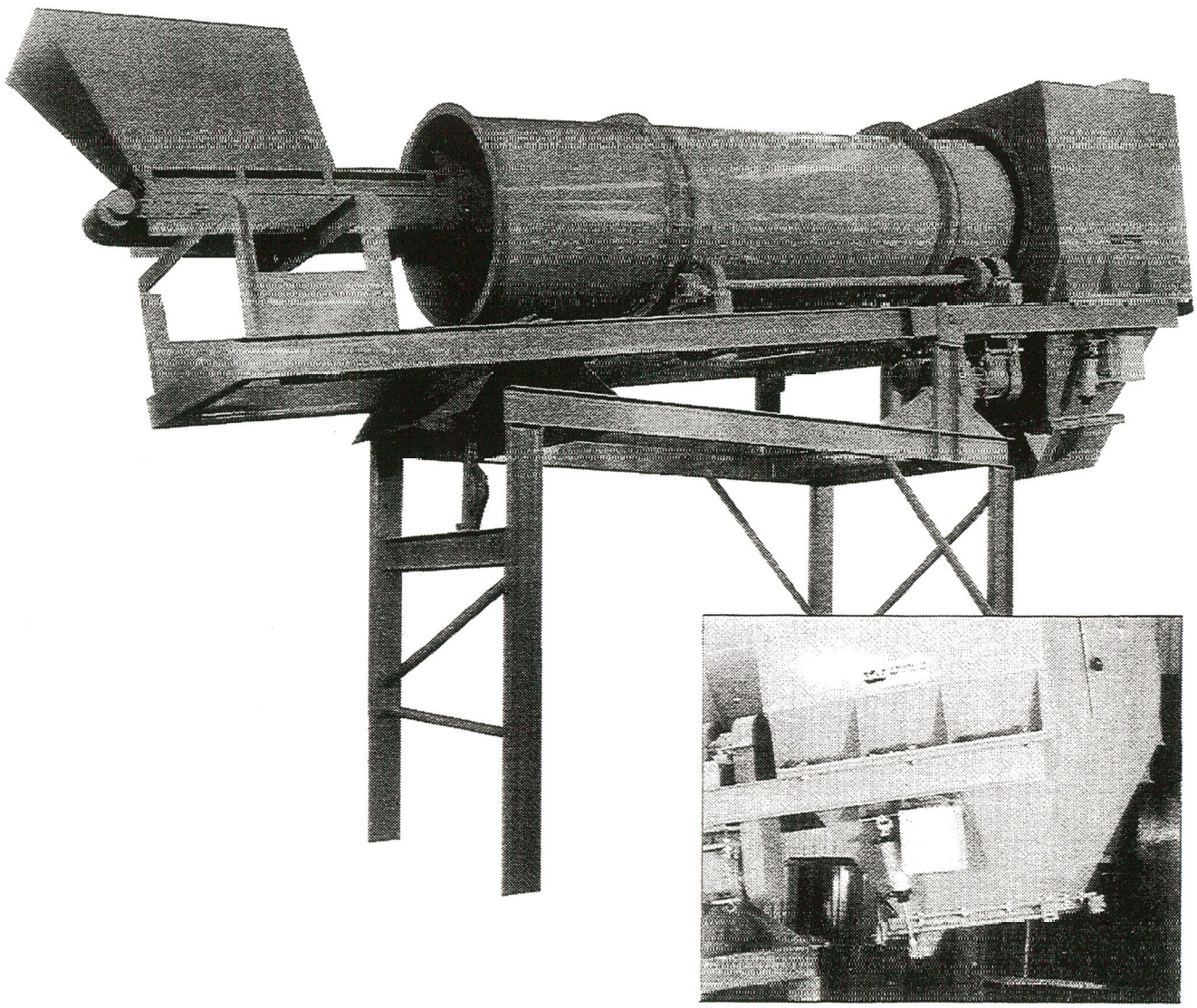


7. Automatic sequence control of start up and shut down with regenerative braking of the magnetic system drum on slow down.
8. Designed and tested at rotational speeds in excess of maximum operating speed to give maximum assurance of structural integrity of magnetic drum.
9. Fan cooled bearing assemblies to ensure maximum bearing life under all environmental conditions.
10. Colour coded wear indicator on magnetic drum cover.
11. Permanently installed hydraulic jacks to enable operator to change conveyor belt using simple hand tools and without need for external craneage.



Above top: Non-Ferrous metals recovered from residue line
Above: Non-metallic residues after separation
Centre: Black magic separator in operation

SCANDINAVIAN RECYCLING AB



DRUM WIND SEPARATOR TRV 10

The drum wind separator TRV 10 has been developed to separate crushed complex scrap into:

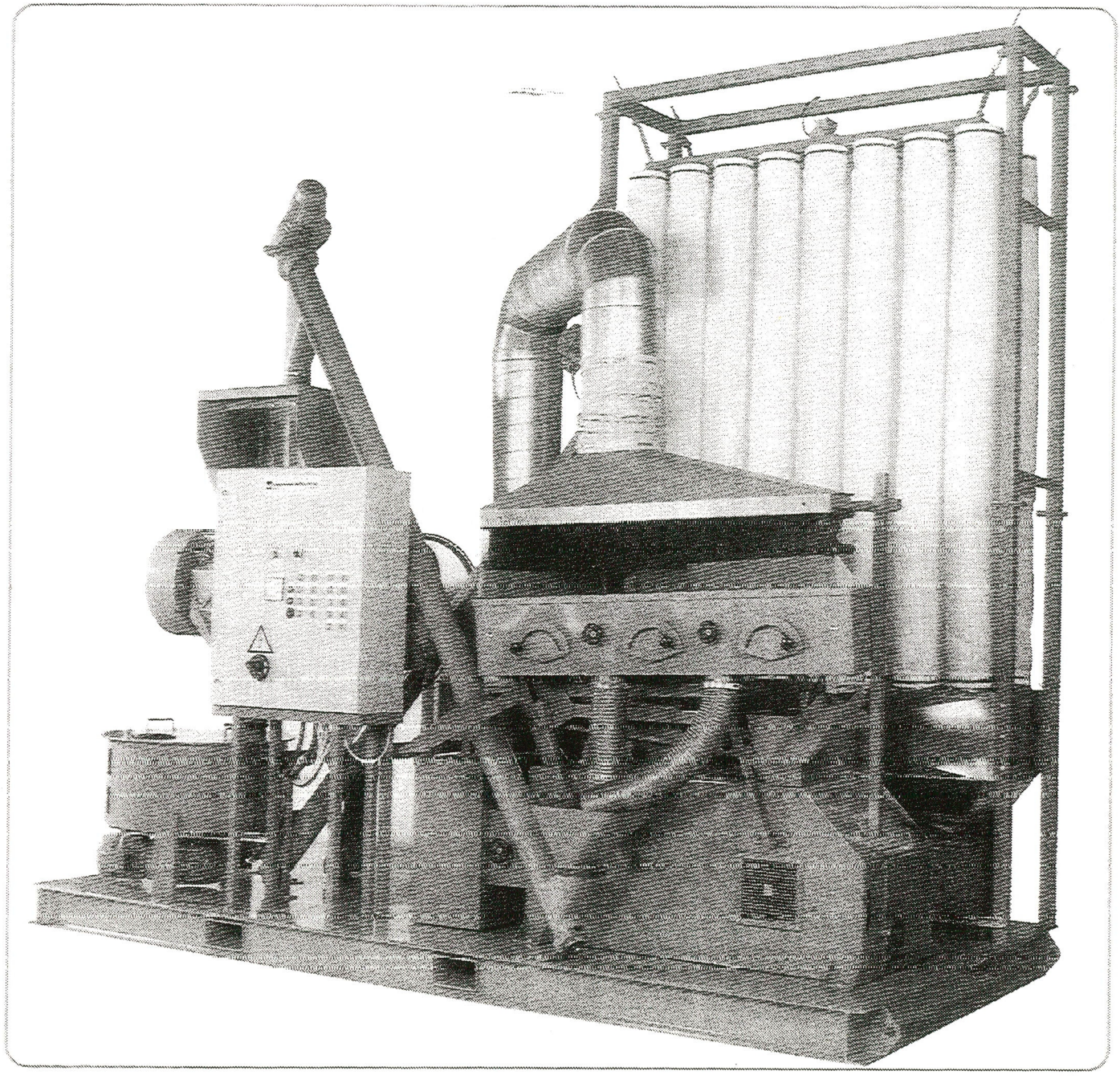
- light copper fraction with organic material
- heavy copper fraction
- aluminium fraction

The effective separation of the raw material is achieved through:

- variable speed of the drum itself
- big range of angle of inclination
- big range of adjustment for air velocity
- visual contact with the separation process
- easily exchangeable end screen when processing different types of material

To minimize wear and reduce the noise level, the interior of the drum is clad with rubber. The raw material is fed into the drum by a belt conveyor.

SCANDINAVIAN RECYCLING AB



MINI-MODULE

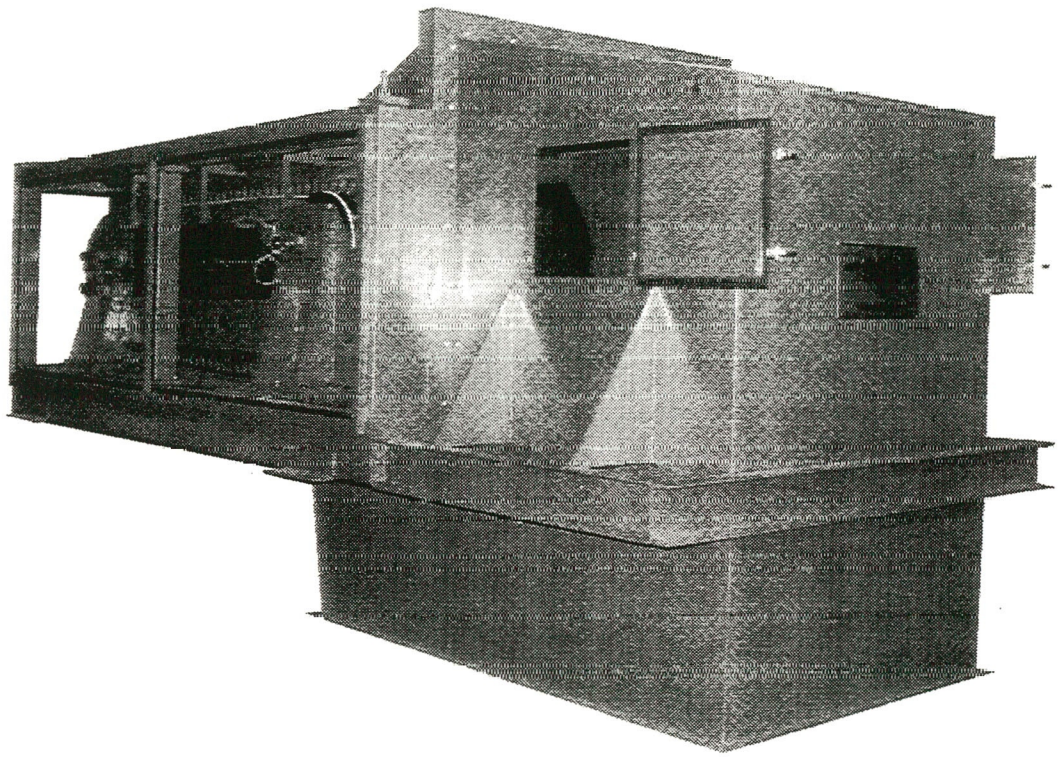
For more than twelve years we have supplied over 70 plants for recycling of cable. In everyone we have used the GK 650 M granulator and TSB separatortable. The same reliable machines are used in our Mini-Module.
Other main features are:

- The Mini-Module is a complete cable recycling plant designed to process pre-cut cable without steel and grease with a maximum diameter of 30 mm.
- We can offer optional equipment such as shears, strippers, pre-choppers and beltconveyors for the Mini-Module.
- The purity of end products are better than 99% and the metallosses less than 1%.
- The Mini-Module is small in size and can be transported in a 20 fot container or on a truck and easily handled by a forklift truck.
- The capacity is approx 300-500 kg per hour for cable with minimum 50% metal content, when using a 4 mm screen in the granulator.
- The Mini-Module is a one-man operated plant with built-in automatics and feeding hoppers.

SIS separator

SUPER-EDDY CURRENT SEPARATOR

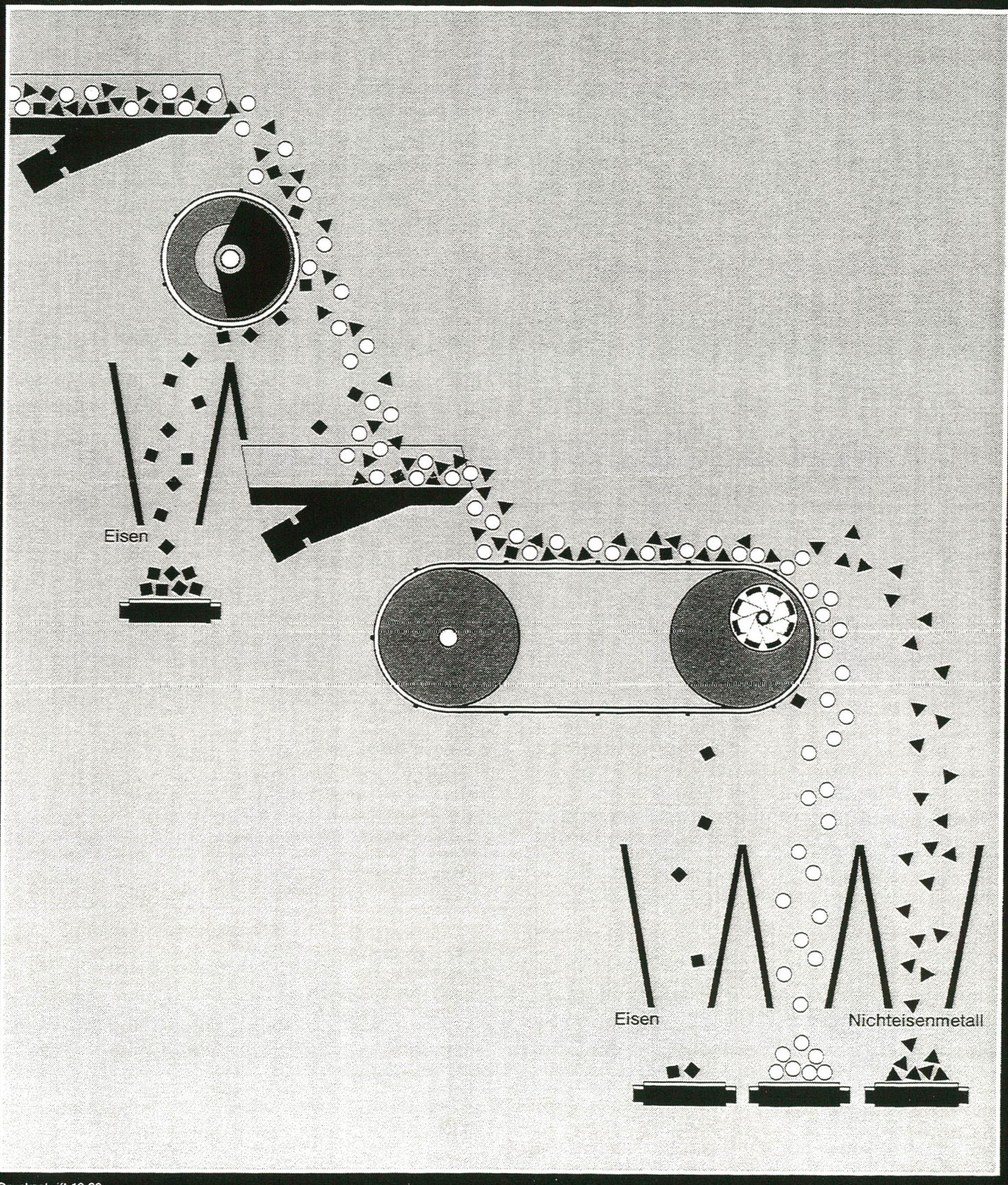
sgm



STEINERT

ELEKTROMAGNETBAU

Separationsanlage für Nichteisenmetalle



Druckschrift 10-90

Elektronikschrott–Aufbereitung mit dem Korona–Walzen–Scheider KWS

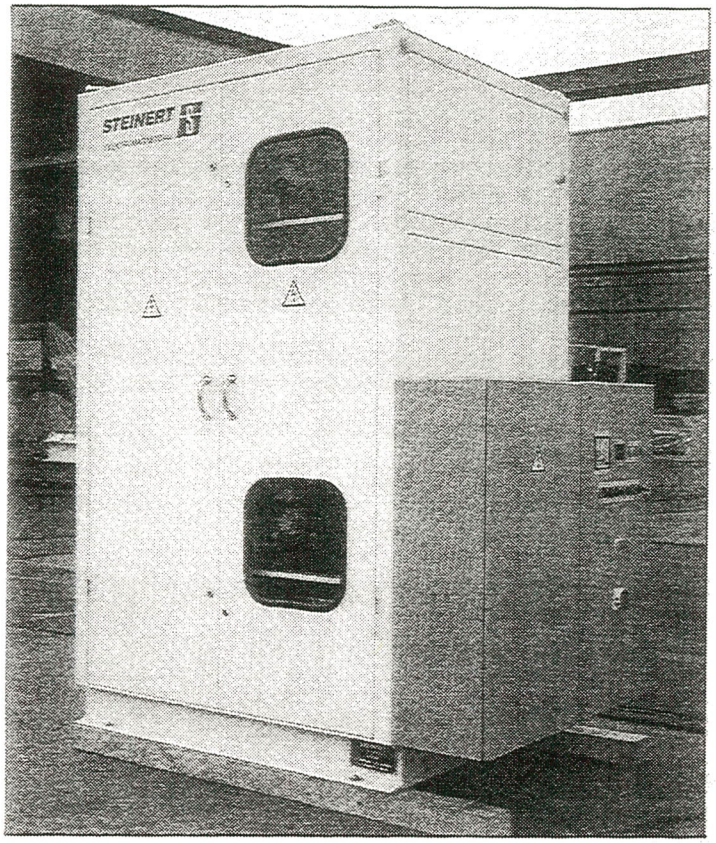


Abb.1: STEINERT Korona–Walzen–Scheider KWS 50–2

Elektronikschrott–Aufbereitung

Bei Elektronikgeräten werden zunächst alle inneren Bestandteile aus dem Gehäuse entnommen und entsorgt. Bei diesem Arbeitsgang werden die Leiterplatten, Kabel, Bauteile, Kunststoffgehäuse und Bildröhren in einzelne Fraktionen sortiert. Diese Fraktionen durchlaufen jede für sich eine mechanische Zerkleinerung. Anschließend wird Eisen mit STEINERT Magnetscheidern und NE–Metall mit STEINERT NE–Metall–Abscheidern abgetrennt.

Je nach Konzeption der Anlage kann nach jeder Zerkleinerungsstufe eine Eisen– und NE–Metall–Abtrennung nachgeschaltet werden. Bei kleinen Korngrößen ab unter 5 mm kommt dafür im Trockenverfahren der elektrostatisch arbeitende **STEINERT Korona–Walzen–Scheider** (Abb. 1 und 2) zum Einsatz, der sämtliche Metalle, also auch magnetisierbare, von nichtleitenden Materialien trennt.

Der STEINERT Korona–Walzen–Scheider konzentriert z. B. das Kupfer der Leiterbahnen aus gemahlenen Platinen (Abb. 3 und 4).

Weitere trennbare Stoffe im Elektronikbereich:

Jede Kunststoffart von Metallen, incl.
Aluspäne von PVC, Polystyrol und sonstigen Kunststoffen
Kupferdrähte von PVC
Nickel/Kupfer/Chrom von galvanisierten Plastikgehäusen

Andere Einsatzbereiche:

Kabelschrott
Stanzabfälle
Erzaufbereitung, z. B. Zinn von Quarz

Durch STEINERT Korona–Walzen–Scheider wiedergewonnene Grundstoffe lassen sich aufgrund ihrer hohen Reinheit gewinnbringend vermarkten. Zudem können Schuttfraktionen, die durch den Korona–Walzen–Scheider gereinigt wurden, viel kostengünstiger und umweltschonender auf Deponien abgelagert werden.

Besonderheiten der STEINERT Korona–Walzen–Scheider

Die Entladungsspitzen werden immer dann, wenn sie zu verschmutzen drohen, automatisch durch Luftdruckdüsen gereinigt.
Die Konstruktion wurde auf Betriebssicherheit und Langlebigkeit optimiert.
Die aufwendige Gestaltung der Zuführungen, der Rinnen und des Gehäuses ermöglichen eine einfache Wartung.
Komplette elektrische Steuerung
Sehr niedrige Betriebskosten (2 kVA)
Sehr hohe Sauberkeiten durch mehrstufigen Aufbau möglich. Auch einstufig erhältlich.

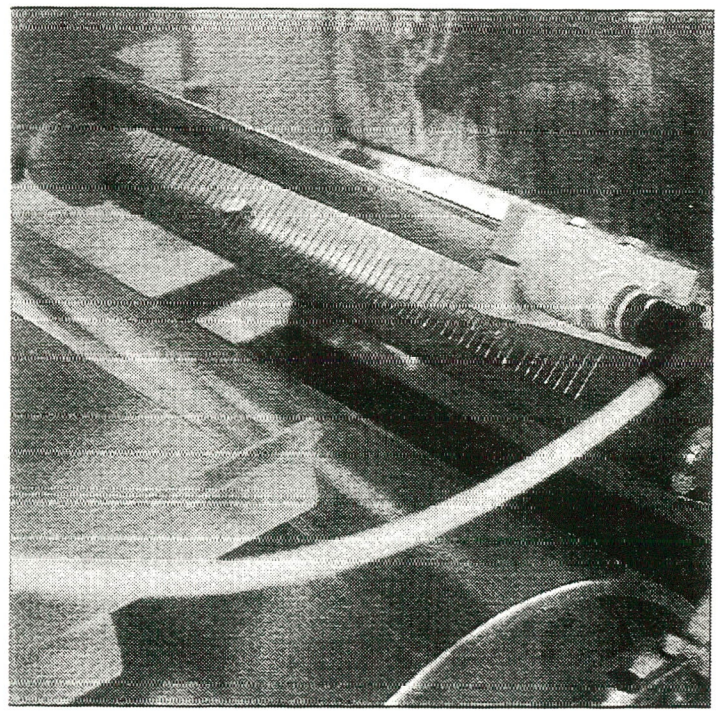


Abb.2: Korona–Entladungsspitzen mit Ausblasvorrichtung, Zuführungsrinnen und Walze

Auf der Suche nach allen Schadstoffen, die Ihre Altglas-Aufbereitung trüben



geveke
machines

Business Unit van Geveke Werktuigbouw bv

Postbus 820 - 1000 AV Amsterdam
Tel. (020) 582 9111 - Fax (020) 686 1604

MAG 4000 LAG 7000

DIE SCHADSTOFF-AUSSCHEIDER FÜR DIE ALTGLASAUFBEREITUNG

wagner magnete

Wagner KG
D-8941 Heimertingen
Telefon 08335/741
Telex 54529 wagner d
Telefax 08335/8673

L 0428
12/90

Nichteisen-Scheider

