Steunpunt beleidsrelevant onderzoek 3de generatie

Duurzaam Materialenbeheer

ONDERZOEK INZAMELDOELSTELLINGEN EN VALORISATIE AEEA

Nelen Dirk
Manshoven Saskia
Vanderreydt Ive

Het steunpunt Duurzaam Materialenbeheer brengt zes belangrijke kennisinstellingen samen: KU Leuven, Universiteit Antwerpen, Universiteit Gent, Universiteit Hasselt, HUBrussel en VITO.

Rapportnummer: n° 10

Categorie: Korte termijn opdracht

Leuven, 20 augustus 2014

Gelieve naar deze publicatie te verwijzen als volgt:
Nelen D., Manshoven S., Vanderreydt I. (2014) Onderzoek inzameldoelstellingen en valorisatie AEEA, Steunpunt Duurzaam Materialenbeheer, Heverlee.

Voor meer informatie over deze publicatie dirk.nelen@vito.be

Deze publicatie kwam tot stand met de steun van de Vlaamse Gemeenschap, Programma Steunpunten voor Beleidsrelevant Onderzoek.

In deze publicatie wordt de mening van de auteur weergegeven en niet die van de Vlaamse overheid. De Vlaamse overheid is niet aansprakelijk voor het gebruik dat kan worden gemaakt van de opgenomen gegevens.

Template ontworpen door HIVA – KU Leuven

© 2014 STEUNPUNT DUURZAAM MATERIALEN BEHEER, KASTEEL ARENBERG 44, BUS 2450, B-3001 HEVERLEE

Contents

Lijst van tabellen v

Lijst van figuren vii

Managementsamenvatting xi

1. Inleiding 1
1.1 Achtergrond 1
1.2 Massabalans en marktstructuur van (A)EEA in België 2

2. Materiaalsamenstelling EEA en AEEA 5
2.1 Productcategorieën 5
2.2 Samenstelling van productcategorieën 6
2.3 Berekening materiaalsamenstelling en –hoeveelheden Vlaams (A)EEA aan de hand van de massabalans voor 2011 9
2.4 Berekening materiaalsamenstelling en –hoeveelheden Vlaams GW en OVE-IT aan de hand van door Recupel gerapporteerde hoeveelheden voor 2012 12

3. Verwerkingsroutes van Vlaams AEEA 16
3.1 Routes verwerking Belgisch AEEA 16
3.2 Routes verwerking Vlaams groot witgoed (GW) 16
3.2.1 Hergebruik via Recupel 16
3.2.2 Recyclage via Recupel 17
3.2.3 Recyclage via niet-Recupel 18
3.2.4 Overzicht verdeling verwerkingsroutes recyclage Vlaams GW 20
3.3 Routes verwerking Vlaams overig IT (OVE-IT) 21
3.3.1 Hergebruik via Recupel 22
3.3.2 Recyclage via Recupel 22
3.3.3 Recyclage via niet-Recupel 22
3.3.4 Overzicht verdeling verwerkingsroutes Vlaams OVE-IT 24

4. Aan Recupel gerapporteerde materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams GW 26
4.1 Recyclage via Recupel op basis van gerapporteerde Eural-codes 26
4.1.1 Aluminiumsmelter 29
4.1.2 (Roestvrij)staalfabriek 29
4.1.3 Zinksmelter 30
4.1.4 Bouw- en constructiemateriaal 30
4.1.5 Kopersmelter 31
4.1.6 Geïntegreerde smelters en andere schrootverwerkers 34
4.1.7 Plastics 37
4.1.8 Andere 37
4.2 Overzicht en besluiten 37

5. Materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams AEEA op basis van proceskenmerken 41
5.1 Recyclageprocessen van Vlaams AEEA 42
5.1.1 Recyclageproces van Vlaams groot witgoed 42
5.1.2 Recyclageproces van Vlaams overig IT 44
5.2 Materiaalopbrengsten uit recyclage van Vlaams AEEA 46
5.2.1 Resulterende fracties en materiaalopbrengsten uit het recyclageproces van GW 46
5.2.2 Resulterende fracties en materiaalopbrengsten uit het recyclageproces van OVE-IT 49
5.3 Samenvatting materiaalopbrengsten Vlaams GW en OVE-IT 52

6. Recyclage van AEEA in het kader van een duurzaam materialenbeleid 57
6.1 Kringloopsluiting (A)EEA 57
6.1.1 Materiaalwaarde groot witgoed 58
6.1.2 Materiaalwaarde overig IT 61
6.2 Milieu-impacts (A)EEA 65
6.2.1 Bepalen van de milieu-impacts van EEA 66
6.2.2 Milieuvoordelen van materiaalrecyclage 67
6.2.3 Milieuvoordelen per materiaal(categorie) 70
6.2.4 Milieu-impacts verbonden aan groot witgoed 74
6.2.5 Milieu-impacts verbonden aan OVE-IT 78
6.3 Kriticiteit 83
6.3.1 Bepalen van de kriticiteit van grondstoffen en materialen 83
6.3.2 Recuperatie van strategische grondstoffen uit groot witgoed 85
6.3.3 Recuperatie van strategische grondstoffen uit overig IT 87
6.3.4 Recyclage van kritieke metalen en zeldzame aarden uit AEEA 90

7. Potentiële bijdrage van de recyclage van AEEA in Vlaanderen aan een duurzaam materialenbeleid 101
7.1 Bijdrage van recyclage van AEEA aan een duurzaam materialenbeleid 101
7.2 Trends en ontwikkelingen voor recyclage 103
7.2.1 Verschuivingen in het aanbod van AEEA 103
7.2.2 Ontwikkelingen in de verwerking van AEEA 106
7.3 Samenvattende figuren en potentieel van inzamel- en recyclagedoelstellingen voor een verhoogde duurzaamheid 111
7.3.1 Samenvattende figuren 111
7.3.2 Potentieel van inzamel- en recyclagedoelstellingen voor een verhoogde duurzaamheid 116

8. Referenties 120

BIJLAGE 1 125

BIJLAGE 2 126

BIJLAGE 3 128

BIJLAGE 4 130

BIJLAGE 5 131

Lijst van tabellen

Tabel 1: Massabalans van (A)EEA in België in 2011, met inschatting totale hoeveelheden voor Vlaanderen 2

Tabel 2: Inschatting hoeveelheid vrijkomende AEEA in Vlaanderen, in 2011 en 2015, per categorie, in ton, op basis van de Belgische massabalans 3

Tabel 3: Vergelijking hoeveelheid EEA in Vlaanderen in massabalans voor 2011 en hoeveelheid gerapporteerd door Recupel voor 2012, in ton 4

Tabel 4: Recupel productcategorieën, Europese EEA categorieën en vergelijkbare categorieën Belgische massabalans 5

Tabel 5: Materiaalsamenstelling (afgedankte) grote huishoudelijke apparaten, excl. Koelvries, in gewichtsprocent 7

Tabel 6: Materiaalsamenstelling GW met printplaten als materiaalgroep 8

Tabel 7: Verandering materiaalaanbod in ton EEA tov AEEA voor 2011 voor materialen met relatieve verschuiving > 35% 11

Tabel 8: Inschatting van niet-geregistreerd GW verwerkt door shredders 19

Tabel 9: Volume GW per verwerkingsroute 20

Tabel 10: Inschatting van niet-geregistreerd OVE-IT verwerkt door shredders 23

Tabel 11: Volume OVE-IT per verwerkingsroute 25

Tabel 12: Materiaalsamenstelling van gerapporteerde hoeveelheiden GW aangeboden voor verwerking 26

Tabel 13: Gewichten van materiaalfracties volgens Euralcode, met respectievelijke eindbestemming, van rechtstreeks door Recupel ingezameld groot witgoed, zonder hergebruik en volumes van charter-operatoren en leden 27

Tabel 14: Aanbod van aluminium in aluminiumhoudende GW afvalfracties 29

Tabel 15: Aanbod van (roestvrij) staallegeringen in ijzerhoudende GW afvalfracties 29

Tabel 16: Aanbod van zink in zinkhoudende GW afvalfracties 30

Tabel 17: Aanbod van inerte materialen in inerte GW afvalfracties 30

Tabel 18: Aanbod van koper in koperhoudende GW afvalfracties 31

Tabel 19: Aanbod van fracties met als eindbestemming de geïntegreerde smelter 34

Tabel 20: Materialen uit de recyclage van GW printplaten en gerecycleerde hoeveelheden 35

Tabel 21: Materialen uit de zuivere koper(legeringen) en non-ferro fracties 36

Tabel 22: Materialen uit plasticfracties 37

Tabel 23: Materiaalrecyclage uit de verwerking van de aan Recupel gerapporteerde fracties 38

Tabel 24: Fracties uit recyclage Vlaams GW 46

Tabel 25: Materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams GW 48

Tabel 26: Belangrijkste niet gerecycleerde materialen in de recyclage van Vlaams GW 48

Tabel 27: Fracties uit recyclage Vlaams OVE-IT 49

Tabel 28: Materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams OVE-IT 51

Tabel 29: Belangrijkste niet gerecycleerde materialen in de recyclage van Vlaams OVE-IT 52

Tabel 30: Recycled content van enkele speciale en edelmetalen 73

Tabel 31: Lijst met indicatorwaarden voor kriticiteit 85

Tabel 32: Toepassingen van kritieke materialen in EEA 91

Tabel 33: De aanwezigheid van enkele kritische metalen in smartphones 91

Tabel 34: Neodymiumgehalten en concentraties in laptops en desktops 93

Tabel 35: UNU keys en inzamelcategorieën 125

Tabel 36: Gedetailleerde materiaalsamenstelling EEA op de markt gebracht in Vlaanderen in ton voor 2011 126

Tabel 37: Gedetailleerde materiaalsamenstelling vrijkomend AEEA in Vlaanderen in ton in 2011 128

Tabel 38: Samenstellingsgegevens GW en OVE-IT, als % van totaal gewicht, uit Huisman et al. (2007) 130

Tabel 39: Prijzen van primaire en gerecycleerde materialen, met bronvermelding 131

Lijst van figuren

Figuur 1: Verdeling van verschillende materiaalgroepen over alle EEA (uitgez. PROF) 2011 10

Figuur 2: Verdeling van verschillende materiaalgroepen over alle AEEA (uitgez. PROF) 2011 11

Figuur 3: Standaardafwijking metaalconcentratie op printplaten (1995-2013) 13

Figuur 4: Relatieve samenstelling GW (boven) en OVE-IT (onder) op gewichtsbasis 14

Figuur 5: Concentratie van edelmetalen in GW en in OVE-IT, met logaritmische schaal 15

Figuur 6: Recyclageresultaten Recupel Jaarverslag 2012 17

Figuur 7: Bestemming in Vlaanderen vrijkomend GW 21

Figuur 8: Bestemming in Vlaanderen vrijkomend OVE-IT 25

Figuur 9: Secundaire kopersmelter van Aurubis in Lünen (DE) 32

Figuur 10: Metaalwiel 32

Figuur 11: Inzet van koperschroot in de koperproductie 33

Figuur 12: The Umicore flowsheet based on copper and lead hydro- and pyro-metallurgy 34

Figuur 13: Zorba-fracties (Bron: www.recyclingtoday.com) 37

Figuur 14: Lijst van erkende verwerkers van AEEA in België 42

Figuur 15: Verwerkingsproces en materiaalopbrengsten Vlaams GW 44

Figuur 16: Verwerkingsproces en materiaalopbrengsten Vlaams OVE-IT 45

Figuur 17: Materiaalopbrengsten in gewicht van Vlaams GW (links) en OVE-IT (rechts) door recyclage 53

Figuur 18: Recuperatie van materialen (>200 ton) uit de verwerking van vrijgekomen GW 54

Figuur 19: Recuperatie van materialen (<200 ton)uit de verwerking van vrijgekomen GW 54

Figuur 20: Recuperatie van materialen uit de verwerking van vrijgekomen OVE-IT 56

Figuur 21: Materiaalwaarde van vrijkomend Vlaams witgoed met gekende verwerkingsroute 59

Figuur 22: Materiaalwaarde input recyclagesysteem GW versus recyclaatwaarde 60

Figuur 23: Materiaalwaarde van vrijkomend Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute 63

Figuur 24: Materiaalwaarde input recyclagesysteem OVE-IT versus recyclaatwaarde 64

Figuur 25: Schematische voorstelling van de 'net-scrap'-methode (aangepast) 70

Figuur 26: Milieu-impact geassocieerd met het vrijkomend Vlaams witgoed met gekende verwerkingsroute 75

Figuur 27: Vermeden milieu-impacts dankzij recyclage t.o.v. de originele milieu-impacts (Groot witgoed) 76

Figuur 28: Milieu-impact geassocieerd met het vrijkomend Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute 79

Figuur 29: Vermeden milieu-impacts dankzij recyclage t.o.v. de originele milieu-impacts (OVE-IT) 81

Figuur 30: Kritiek gewicht van Vlaams groot witgoed met gekende verwerkingsroute (excl. laaggelegeerd staal) 86

Figuur 31: Kritiek gewicht input recyclagesysteem GW versus kritiek recyclaatgewicht (excl. laaggelegeerd staal) 87

Figuur 32: Kritiek gewicht van Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute (excl. laaggelegeerd staal) 88

Figuur 33: Kritiek gewicht input recyclagesysteem OVE IT versus kritiek recyclaatgewicht (excl. laaggelegeerd staal) 89

Figuur 34: Concentraties en gehalten kritieke materialen in EEA-onderdelen, met logaritmische schaal 90

Figuur 35: Sorteeranalyse categorie 3 per apparaattype in gewichtsprocent 92

Figuur 36: Gebruik van zeldzame aarden in iPhones 94

Figuur 37: Magnetisch afval uit AEEA recyclage 95

Figuur 38: Combinatie van inputstromen voor het terugwinnen van neodymium uit magneten 96

Figuur 39: Stappen voor de uitbouw van een Europees recyclagesysteem voor zeldzame aarden 97

Figuur 40: Prijsverloop van neodymium en dysprosium 2008-20014 98

Figuur 41: Historische prijzen van zeldzame aarden 99

Figuur 42: Tantaliumcondensatoren op een printplaat (gele componenten) 100

Figuur 43: Samenstelling van de waarde van EEA (Bron: VITO) 102

Figuur 44: Siemens MD35 module voor communicatie met en besturing van huishoudelijke elektrische apparaten en systemen 104

Figuur 45: Wereldverkoop GSMs en smartphones 106

Figuur 46: Belangrijkste plastiektypes gebruikt voor de productie van ingezameld AEEA 107

Figuur 47: Effect van de keuze van de voorbehandelingstechniek op de recuperatie van goud uit de printplaatfractie van AEEA 108

Figuur 48: Materiaalopbrengsten in % van drie verschillende verwerkingsroutes voor OVE-IT 109

Figuur 49: Potentieel recyclage OVE-IT over verschillende verwerkingsroutes 110

Figuur 50: Gewichts-, waarde-, milieu- en kriticiteitsaandeel van de samenstellende materialen in groot witgoed (%) 112

Figuur 51: Recyclage-efficiëntie van Groot Wit, in termen van gewicht, waarde (kringloopsluiting), milieu-impacts en kriticiteit (100% = volledige recyclage van het aanwezige materiaal) 113

Figuur 52: Efficiëntie van de recyclage van groot witgoed, voor gerecupereerd materiaalgewicht en -waarde (kringloopsluiting), gerecupereerde kriticiteit en vermeden milieu-impacts 113

Figuur 53: Gewichts-, waarde-, milieu- en kriticiteitsaandeel van de samenstellende materialen in OVE-IT (%)114

Figuur 54: Recyclage-efficiëntie van OVE-IT, in termen van gewicht, waarde, milieu-impacts en kriticiteit (100% = volledige recyclage van het aanwezige materiaal) 115

Figuur 55: Efficiëntie van de recyclage van overig IT, voor gerecupereerd materiaalgewicht en -waarde (kringloopsluiting), gerecupereerde kriticiteit en vermeden milieu-impacts 115

Managementsamenvatting

Vlaanderen voldoet momenteel ruimschoots aan de streefcijfers vooropgesteld in de nieuwe EU Richtlijn 2012/19/EU betreffende afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA). In de komende jaren worden de doelstellingen voor inzameling echter verscherpt. Artikel 7 van de Richtlijn stelt immers: "*Vanaf 2019 bedraagt het jaarlijks te halen minimum-inzamelingspercentage 65 % van de gemiddelde gewichtshoeveelheid EEA die de voorgaande drie jaren in de betreffende lidstaat in de handel is gebracht, of als alternatief 85 % van de hoeveelheid in die lidstaat geproduceerde AEEA*."

Er zijn echter nog onduidelijkheden en discussiepunten over de wijze waarop de inzamel- en andere doelstellingen moeten worden vastgesteld of berekend. In verschillende landen en instellingen worden daarom al inspanningen geleverd om na te gaan hoe dit best gebeurt. Ook Recupel bereidt zich volop voor om een strategie uit te stippelen om de toekomstige doelstellingen te kunnen halen. Hiertoe liet Recupel een studie uitvoeren over de massabalans en marktstructuur van AEEA in België. Deze studie verschaft een mogelijke berekeningsbasis om de haalbaarheid (of het halen) van de inzameldoelstellingen af te toetsen. Een hoog inzamelpercentage garandeert echter nog niet dat het AEEA ook gepast verwerkt en gerecycleerd wordt. De nieuwe AEEA richtlijn 2012/19/EU beschouwt voor de berekening van de doelstellingen immers enkel het gewicht van de AEEA dat de inrichting voor nuttige toepassing of voor recycling/voorbereiding voor hergebruik binnenkomt. Het lijkt dus aangewezen ook de (potentiële) verwaarding van de ingezamelde AEEA, met name met betrekking tot vermeden milieueffecten, kringloopsluiting en materiaalkriticiteit, in kaart te brengen. In dit rapport worden deze aspecten doorgelicht voor de AEEA categorieën groot witgoed en overig IT.

Deze analyse gebeurde aan de hand van een door VITO voorgestelde indicatorenset[1]. Deze set hanteert als maat voor kringloopsluiting de verhouding van de marktprijs van de outputfracties van het recyclagesysteem tot de prijs van de materialen aanwezig in de EEA. De indicatorenset beschouwt ook de door materiaalrecyclage vermeden milieu-impacts van de productie van nieuwe materialen. De milieu-impacts van het recyclageproces zelf blijven buiten beschouwing. Voor de berekening van vermeden impacts werd de 'net scrap' methode gebruikt, waarbij enkel baten worden toegekend aan de vermeden primaire materiaalfractie. Voor het bepalen van de door materiaalrecyclage gerecupereerde kriticiteit werd aan de materialen een 'kritiek gewicht' toegekend op basis van het economisch belang en het risico van bevoorradingsschaarste in een Europese context. De belangrijkste conclusies voor elk aspect worden hieronder weergegeven.

<u>Kringloopsluiting</u>

Het ingezamelde volume Vlaams groot witgoed wordt nagenoeg volledig verwerkt of hergebruikt, zodat op dit vlak weinig verbetering mogelijk is. Overeenkomstig de Belgische AEEA massabalans belandde er echter naar schatting voor ongeveer acht miljoen euro aan materialen in overig IT in de restafvalzak.

[1] Nelen, D., Manshoven, S., Peeters, J.R., Vanegas, P., D'Haese, N., Vrancken, K. (In press). A multidimensional indicator set to assess the benefits of WEEE material recycling. Journal of Cleaner Production.

Een nog meer volledige recuperatie van laag gelegeerd staal, koper, polypropyleen en roestvrij staal lijkt geen tot beperkte groeikansen te bieden, ook niet wat het toepassingsgebied betreft. In de praktijk kan de recyclage van koper vermoedelijk nog wel verbeterd worden, met name door aangepaste technologieën en/of productdesign voor een betere scheiding van koper en staal uit elektromotoren.

In tegenstelling tot wat het geval is bij groot witgoed, is de absolute waarde van edelmetalen in vrijkomend overig IT zeer belangrijk (>9 miljoen euro). In de toekomst zouden componenten nodig om apparaten te integreren in 'smart grids' aan belang kunnen winnen, met een overeenkomstige toename van elektronische circuits, de voornaamste bron van edelmetalen.

De polymeerfractie vertegenwoordigt een belangrijkste verliespost bij de huidige meest waarschijnlijke verwerkingsroutes. Hoewel sommige polymeren, in het bijzonder PP, ABS, ABS-PC en PS, al met succes worden gescheiden in relatief zuivere fracties met specifieke toepassingen, is dat voor andere nog niet of veel minder het geval. Daarbij moeten de eventuele winsten uit een ver doorgedreven sortering en scheiding van een uitgebreid gamma aan polymeren en polymeermengsels, al dan niet met intussen verboden of nog toegelaten brandvertragers, worden afgewogen tegenover de waarde die deze polymeren halen uit hun calorische inhoud.

Bij overig IT gaat een aanzienlijk gedeelte van de materiaalwaarde van de input verloren onder de vorm van goud dat verspreid wordt over verschillende outputfracties in de mechanische scheiding en sortering.

Het grote prijsverschil tussen primair laaggelegeerd staal en gerecycleerd staalschroot zorgt voor een aanzienlijk waardeverlies.

Vermeden milieueffecten

De recyclage van koper biedt nog potentieel tot verbetering. Koper wordt vaak relatief laat in de recyclageprocesketen afgescheiden, waardoor een deel ervan verloren gaat als onzuiverheid in andere fracties. Ook de sorteerefficiëntie van de processtappen voor koper kan nog verhoogd worden. Met aangepaste scheidingstechnologieën en/of productdesign voor een betere scheiding van koperen kabels en koper uit elektromotoren kunnen de belangrijkste verliesposten aangepakt worden.

Ook niet gerecycleerde plastics beperken de door recyclage vermeden milieueffecten. Het kan echter aangewezen zijn om plastics met ongewenste additieven definitief uit de materialenkringloop te verwijderen door ze te verbranden.

Voor overig IT is de milieu-impact verbonden aan de aanwezige edelmetalen zeer belangrijk, met name die van goud. Manuele demontage van printplaten uit sommige IT-apparaten voorkomt nu al gedeeltelijk dat edelmetalen verloren gaan bij de mechanische verkleining. Voor de demontage van apparaten met een relatief lager gehalte aan edelmetalen in de printplaten zullen de bijkomende kosten moeten worden afgewogen tegen de economische en milieubaten.

De milieu-impact van recyclageprocessen van metalen zijn meestal onbetekenend in vergelijking met de milieu-impacts van vermeden primaire metalen. Dit is met name het geval voor edele en speciale metalen. Bij gebrek aan commerciële toepassing is het evenwel niet duidelijk of dit ook het geval is voor de complexe en grondstofintensieve recyclageprocessen voor bijvoorbeeld zeldzame aarden.

Kriticiteit

De recuperatie van kriticiteit in het recyclagesysteem van groot witgoed en overig IT valt nog moeilijk te verbeteren. Dit komt omdat die kriticiteit voornamelijk is toe te schrijven is aan het laaggelegeerd staal, naar gewicht het belangrijkste materiaal in groot witgoed en overig IT dat opgenomen is in de lijst van strategische grondstoffen waarvoor de het economisch belang en het bevoorradingsrisico bepaald werden. De recyclage-efficiëntie van laaggelegeerd staal is bovendien zo goed als maximaal. Overig IT bevat ongeveer 30% plastics, maar deze krijgen geen kriticiteit toegekend. Het kriticiteitseffect van het terugwinnen van zeldzame aarden en verschillende door de Europese Commissie als kritieke metalen gecategoriseerde elementen die in uiterst lage concentraties voorkomen in de bestudeerde AEEA categorieën (ppm-orde) is klein en moeilijk te berekenen.

In de studie wordt voor overig IT het effect geïllustreerd van alternatieve verwerkingsroutes op gebied van gewicht aan gerecycleerde materialen, kringloopsluiting, vermeden milieu-impacts en teruggewonnen kritiek gewicht. Hieruit blijkt het belang van het opzetten van product- en onderdeel gerichte recyclageroutes, waarbij de indeling van (A)EEA in de huidige categorieën weinig bruikbaar is. Er is een verschillende en hogere resolutie nodig om tot een categorisatie van (A)EEA te komen die meer geschikt is om recyclagedoelstellingen vast te leggen en op te volgen.

Een veranderend kader van duurzaam materialenbeleid, waarbij aspecten als kringloopsluiting, het vermijden van milieu-impacts, en het terugwinnen van kritieke materialen aan belang winnen, vraagt niet alleen de ontwikkeling, implementatie en integratie van recyclagetechnologieën, maar een meer doortastende aanpassing van het recyclagesysteem, met inbegrip van de inzameling.

Om de ontwikkeling van dergelijk systeem op een gepaste manier te kunnen sturen, zijn nieuwe inzamel- en recyclagedoestellingen onontbeerlijk. Opdat dergelijke doelstellingen zinvol, coherent, relevant en haalbaar zouden zijn is een nieuw evaluatiekader nodig. Concreet betekent dit een aangepaste categorisatie van AEEA, het uitvoeren van analyses op AEEA stromen, en het opvolgen van onderzoek naar de (effecten van) de recyclage van kritieke materialen.

Om de recyclage van op voorhand geselecteerde kritieke materialen ook economisch haalbaar te maken is, omwille van de beperkte absolute hoeveelheden, internationale samenwerking en schaalvergroting van de inzamel- en verwerkingsactiviteiten nodig. Tenslotte is geen van de door de Europese Commissie als 'kritiek' gecategoriseerde materialen overwegend aanwezig in AEEA, zodat recyclagedoelstellingen die uitsluitend betrekking hebben op AEEA, of op bepaalde van de huidige categorieën, in dit verband minder zinvol zijn.

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Vlaanderen voldoet momenteel ruimschoots aan de streefcijfers vooropgesteld in de nieuwe EU Richtlijn 2012/19/EU van het Europees Parlement en de Raad van 4 juli 2012, betreffende afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA). In de komende jaren worden de doelstellingen voor inzameling echter verscherpt. Artikel 7 van de Richtlijn stelt immers: "*Vanaf 2019 bedraagt het jaarlijks te halen minimum-inzamelingspercentage 65 % van de gemiddelde gewichtshoeveelheid EEA die de voorgaande drie jaren in de betreffende lidstaat in de handel is gebracht, of als alternatief 85 % van de hoeveelheid in die lidstaat geproduceerde AEEA.*"

Er zijn echter nog onduidelijkheden en discussiepunten over de wijze waarop de inzamel- en andere doelstellingen moeten worden vastgesteld of berekend (bijvoorbeeld of het betreffende gewicht met of zonder batterijen of accessoires is; hoeveel EEA en AEEA er effectief op de markt komt;…). In verschillende landen en instellingen worden daarom al inspanningen geleverd om na te gaan hoe dit best gebeurt.

Ook Recupel bereidt zich volop voor om een strategie uit te stippelen om de doelstellingen te kunnen halen. Hiertoe liet Recupel reeds een studie uitvoeren over de massabalans en marktstructuur van AEEA in België. In dit rapport wordt het door United Nations University (UNU) ontwikkelde statistische model gebruikt om op basis van gegevens over verkopen, voorraad en levensduur profielen een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid op de markt gebrachte EEA en de hoeveelheid AEEA die vrijkomt. Dit zou dan de berekeningsbasis vormen om de haalbaarheid (of het halen) van de inzameldoelstellingen af te toetsen. Zowel dit model als Recupel maken een onderscheid tussen verschillende productcategorieën binnen het AEEA (zoals IT, beeldschermen, koelvriesapparaten,…) om beter in te kunnen schatten hoe de inzameldoelstelling best (of het meest efficiënt) gehaald kan worden.

Een hoog inzamelpercentage garandeert echter nog niet dat het AEEA ook gepast verwerkt en gerecycleerd wordt. De nieuwe AEEA richtlijn 2012/19/EU beschouwt voor de berekening van de doelstellingen immers enkel het gewicht van de AEEA dat de inrichting voor nuttige toepassing of voor recycling/voorbereiding voor hergebruik binnenkomt. Het lijkt dus aangewezen ook de (potentiële) verwaarding van de ingezamelde AEEA, met name met betrekking tot vermeden milieueffecten, teruggewonnen materiaalwaarde en materiaalkriticiteit, in kaart te brengen.

Op basis van dergelijke analyse kan dan de haalbaarheid en/of wenselijkheid van specifieke doelstellingen voor bepaalde productcategorieën afgetoetst worden, met het oog op de realisatie van een zo hoog mogelijke bijdrage tot een duurzaam materialenbeheer.

1.2 Massabalans en marktstructuur van (A)EEA in België

In opdracht van Recupel werd de marktstructuur van (A)EEA in België geanalyseerd en werd een nationale massabalans opgemaakt van de (A)EEA-stromen (Tabel 1). Uit deze balans blijkt dat 47% van de vrijkomende AEEA wordt geregistreerd via Recupel en de individuele plannen, 23% kon gedocumenteerd worden, terwijl de bestemming van 30% van het vrijkomende AEEA niet achterhaald kon worden.

Tabel 1: Massabalans van (A)EEA in België in 2011[2], met inschatting totale hoeveelheden voor Vlaanderen

kg/inw	GW	KV	OVE	TVM	LMP	PROF	Tot. België (kg/inw)	Tot. Vlaanderen (ton)[3]
EEA op de markt	8,53	3,26	10,01	1,64	0,24	2,53	26,2	167.126
Vrijkomende AEEA	6,85	2,43	8,26	2,93	0,20	1,68	22,4	142.513
Geregistreerd	2,72	1,81	3,36	2,34	0,12	0,13	10,5	66.825
Niet geregistreerd	4,13	0,62	4,90	0,59	0,08	1,55	11,9	75.688
Shredders & EERA	0,83	0,08	0,29	0,00	0,00	0,21	1,4	8.991
Export Schroot	0,79	0,07	0,26	0,00	0,00	0,20	1,3	8.417
Export EEA	0,22	0,14	0,14	0,03	0,00	0,05	0,6	3.698
Export AEEA	0,10	0,06	0,06	0,01	0,00	0,02	0,3	1.594
AEEA in het restafval	0,00	0,00	1,53	0,00	0,01	0,00	1,5	9.820
Gedocumenteerd	1,94	0,35	2,28	0,04	0,01	0,48	5,1	32.520
Niet gedocumenteerd	2,19	0,27	2,62	0,55	0,07	1,07	6,8	43.168
% Niet gedocumenteerd	32%	11%	32%	19%	35%	64%	30%	30%

Volgende inzamelcategorieën worden momenteel gehanteerd door Recupel:

- GW: groot witgoed
- KV: Koel - en vriesapparatuur

[2] Huisman, J. (2013). Massabalans en marktstructuur van (A)EEA in België. Eindrapport in opdracht van Recupel. FFact Management Consultants, United Nations University, Institute for Sustainability and Peace, Delft.

[3] De hoeveelheden in ton werden afgeleid op basis van 6.376.425 inwoners in Vlaanderen (http://www.ibz.rrn.fgov.be/fileadmin/user_upload/Registre/fr/statistiques_population/population-bevolking-20130101.pdf)

- OVE: Overige apparatuur (inclusief IT en armaturen)
- TVM: TV's en monitoren
- LMP: Lampen, exclusief armaturen

In het rapport over de massabalans en marktstructuur van (A)EEA in België werd een licht verschillende indeling gehanteerd, waarin een categorie OVE-IT wordt gecreëerd:

- Grote huishoudelijke apparaten (GW), incl. professionele armaturen en andere grote professionele ijzer gedomineerde producten, met inbegrip van centrale verwarming (CV ketels, boilers en geisers).
- Koelvries apparaten (KV), koelkasten, combi-koelkasten, diepvriezers en airconditioners en – installaties.
- Kleine huishoudelijke apparaten (OVE), incl. kleine IT en CE (consumentenelektronica) producten, gereedschappen, speelgoed en andere kleine objecten uit de 10 oude AEEA categorieën. In deze categorie zijn producten meegenomen waarvan voorheen of nog steeds onzeker is of ze vallen onder de scope van de herziene EU richtlijn zoals consumentenarmaturen en klein speelgoed met licht of geluid functies.
- Beeldschermen (TVM): CRT en flat-panel TV's en Monitoren (FPD: Plasma, LCD en LED).
- Lampen (LMP), met uitzondering van gloeilampen en losse halogeenlampen.
- Professionele apparatuur (PROF): speciale professionele (en niet-huishoudelijke) apparatuur, waaronder koelinstallaties, automaten, ziekenhuisapparatuur, etc.
- Informatica-apparatuur (OVE-IT), laptops en desktops incl. accessoires, telefoons, printers en spelcomputers.

Voor bovenstaande categorieën werd aan de hand van de resultaten van het rapport over de massabalans de totale hoeveelheid vrijkomende AEEA ingeschat voor Vlaanderen, in 2011 en 2015, uitgaande van 6.376.425 inwoners[3] (Tabel 2). De grootste groei zal gerealiseerd worden in de categorieën OVE en OVE-IT, die tegen 2015 samen 37,8% van het vrijkomende AEEA (excl. PROF) zullen uitmaken.

Tabel 2: Inschatting hoeveelheid vrijkomende AEEA in Vlaanderen, in 2011 en 2015, per categorie, in ton, op basis van de Belgische massabalans

Ton	2011	2015	Δ%
GW	43.679	46.548	6%
KV	15.495	16.579	7%
OVE	39.789	43.360	8%
TVM	18.683	18.492	-1%
LMP	1.275	1.275	0%
PROF	10.712	11.478	7%
OVE-IT	12.880	14.028	9%
Totaal	142.513	151.759	6%

Op dezelfde manier, i.e. gebruik makende van de gegevens per inwoner uit de massabalans en het aantal inwoners in Vlaanderen, werd de hoeveelheid op de markt gebrachte EEA berekend voor 2011 (Tabel 3). Ter vergelijking zijn de per inzamelcategorie geaggregeerde hoeveelheden weergegeven op

basis van de cijfers die meegedeeld werden door Recupel[4] voor 2012. Er moet opgemerkt worden dat Recupel (2012) verschillende apparaat-types in andere categorieën indeelt ten opzichte van de Belgische massabalans (2011). Zo worden door Recupel flat panel displays onder OVE gecategoriseerd, waar deze in de massabalans onder TVM vallen. De categorie OVE voor 2012 bevat dus ook alle apparaten die in 2011 onder TVM gecategoriseerd staan, en daarenboven ook wat in 2011 als OVE-IT meegeteld wordt. De hoeveelheid in 2012 op de markt gebrachte EEA ligt met name in de categorieën GW en KV sterk onder de voor 2011 berekende hoeveelheid (ongeveer -36%). Een mogelijke verklaring kan bijvoorbeeld zijn dat onder aanhoudende crisis de consument ongetwijfeld de levensduur van in gebruik zijnde EEA zoveel mogelijk zal verlengen en minder geneigd zijn nieuwe apparaten aan te kopen.

Tabel 3: Vergelijking hoeveelheid EEA in Vlaanderen in massabalans voor 2011 en hoeveelheid gerapporteerd door Recupel voor 2012, in ton

Ton	20112	20124
GW	54.391	34.861
KV	20.787	16.989
OVE	49.800	90.787
TVM	10.457	0
LMP	1.530	2.312
PROF	16.132	21.518
OVE-IT	14.666	-[5]
Totaal	167.764	166.466

[4] Recupel Rapport 2012 Vlaanderen
[5] Opgeteld bij OVE

2. Materiaalsamenstelling EEA en AEEA

2.1 Productcategorieën

De United Nations University (UNU) stelt een specifieke indeling van EEA voor in 55 categorieën (*BIJLAGE 1*), die zowel een productperspectief (functionaliteit) voor de marktinvoer als een verwerkingsperspectief voor de inzameling toelaat. Die categorieën omvatten zowel de inzamelcategorieën zoals ze nu vermeld zijn in de herziene EU Richtlijn, de 10 productcategorieën die opgesteld werden voor de vorige richtlijn –deze worden momenteel nog gebruikt-, en de 36 categorieën nu gebruikt door Recupel voor de bepaling van de EEA hoeveelheden van de deelnemers (http://www.recupel.be/Apparatenlijsten.html).

In Tabel 4 worden de door Recupel ingezamelde categorieën -waarbij sommige Europese productcategorieën (nummers 1 tot 10) worden onderverdeeld in a en b- naast de overeenkomstige inzamelcategorieën uit de Belgische massabalans gezet. Sommige van die laatste categorieën zijn nog verder opgesplitst in subcategorieën (letter c), waarvan meer gedetailleerde samenstellingsgegevens beschikbaar zijn[7]. Tussen haakjes wordt de geaggregeerde inzamelcategorie weergegeven waarvoor de berekeningen gebeurden in de Belgische massabalans.

Tabel 4: Recupel productcategorieën, Europese EEA categorieën en vergelijkbare categorieën Belgische massabalans

	Recupel productcategorieën	Categorieën Belgische massabalans
1a	Groot witgoed	Grote huishoudelijke apparaten (GW)
		1c Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)7
1b	Koel- en vriesapparaten	Koelvries apparaten (KV)
2	Klein witgoed	Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)
3a	ICT-apparaten (excl. beeldbuishoudend)	Informatica-apparatuur (OVE-IT)
		3c Beeldschermen (TVM)7
3b	ICT-apparaten (beeldbuishoudend)	Beeldschermen (TVM)
4a	Audio-videoapparaten (excl. beeldbuishoudend)	Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)
		4c Beeldschermen (TVM)7
4b	Audio-videoapparaten (beeldbuishoudend)	Beeldschermen (TVM)
5	Verlichtingsapparatuur	Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)
5a	Gasontladingslampen	Lampen (LMP)
6	Elektrisch en elektronisch gereedschap	Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)
7	Speelgoed, app. sport en ontspanning	Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)
8	Medische hulpmiddelen	Professionele apparatuur (PROF)
9	Meet- en controle-instrumenten	Kleine huishoudelijke apparaten (OVE)
10a	Automaten zonder koeling/verwarming	Professionele apparatuur (PROF)
10b	Automaten met koeling/verwarming	Professionele apparatuur (PROF)

De samenstelling van de productcategorieën wordt bepaald door de types apparaten die worden ingedeeld in een productcategorie en het aandeel, procentueel gezien, van elk van deze types apparaten binnen de respectievelijke productcategorieën.

Voor de Belgische massabalans werd vertrokken van statistieken over de nationale productie, import en export van verschillende apparaten. Daarna werd aan de hand van een gemiddeld gewicht per type apparaat het totale aantal apparaten per type en per productcategorie in beeld gebracht, alsook het totale gewicht per op de markt gebracht type EEA en per productcategorie. Deze gegevens werden vervolgens op hun beurt geaggregeerd tot een totaal aantal apparaten en een totaal gewicht voor elk van de 36 Recupel-categorieën. Uiteindelijk werden deze 36 categorieën opgesplitst in de 55 UNU keys op basis van het gewichtsaandeel van elke UNU-key in elk van de Recupel-categorieën.

Het UNU WEEE Generated Model verbindt vervolgens gegevens over verkoop, voorraad en levensduur om per UNU categorie de hoeveelheid en kan ook het gewicht van de daaruit vrijkomende hoeveelheid AEEA te berekenen voor een bepaald jaar. Aangaande de levensduur werden, afhankelijk van de categorie, ofwel Belgische ofwel Nederlandse gegevens gebruikt. Tenslotte werd bepaald, voornamelijk op basis van inschattingen van operatoren en verwerkers, welk aandeel elke UNU productcategorie vertegenwoordigde in het volume ingezamelde en/of ter verwerking aangeboden AEEA. Deze resultaten werden daarna terug geaggregeerd, dit keer per Recupel-inzamelcategorie. Op die manier kan dan de vergelijking gemaakt worden tussen EEA en AEEA per Recupel-inzamelcategorie.

2.2 Samenstelling van productcategorieën

Samenstellingsgegevens van diverse apparaat-types werden bepaald in verschillende landen en/of regio's.[6] Op Europees niveau gebeurde een inschatting van de productsamenstelling van productcategorieën in 2007[7]. In verschillende Europese landen werd of wordt onderzoek gevoerd naar de samenstelling van productcategorieën en apparaattypes, zowel op componentniveau (compressoren, printplaten, schermen,…), als naar materiaalsamenstelling. We beschouwen hieronder enkele voorbeelden.

> Het Britse Waste & Resources Action Programme (WRAP) ontwikkelde het '*Market Flow Model of Electronic Products*' waarin de samenstelling van AEEA wordt onderzocht, met de bedoeling om prioritaire materialen te identificeren voor recuperatie. Hierin werden 14 EEA categorieën onderscheiden, zoals die terug te vinden zijn in de '*Guidance Notes on the Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE) Regulations 2006*', met een bijkomende categorie van zonnepanelen. Voor elk van de categorieën geeft WRAP een gemiddelde materiaalsamenstelling, waarbij plastics, glas, messing, andere non-ferro, liquid cristals, 46 afzonderlijke elementen en 'andere' worden onderscheiden. Voor de categorieën 2 tot en met 7 werden gedetailleerde analyses uitgevoerd op een selectie van producten uit elke categorie, waarbij printplaten, harde schijven, magnetrons, motoren en luidsprekers

[6] Van Schaik, A. (2011). Kwantificering kritische grondstoffen in E-waste producten (in commission of Vereniging NVMP). Wecycle, Nederland.

[7] Huisman, J., Magalini, F., Kuehr, R., Maurer, C., Delgado, C., Artim, E. Szlezak, J., Ogilvie, S., Poll, J., Stevels, A. (2007), 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Final Report, United Nations University, AEA Technology, Gaiker, Regional Environmental Centre for Central and Eastern Europe, Delft University of Technology, for the European Commission, Study No. 07010401/2006/442493/ETU/G4, August 2007

afzonderlijk werden geanalyseerd. Ook werd een onderscheid gemaakt tussen de verschillende soorten plastics[8].

Het Britse *Department for Environment, Food en Rural Affairs (DEFRA)*, voerde onder andere voor grote huishoudelijke apparaten analyses uit op AEEA inzamelplaatsen (civil amenities).[9]

Het eindrapport met de evaluatie van de oude Richtlijn 200/96 bevat eveneens gedetailleerde materiaalanalyses voor elke van de in de Richtlijn opgenomen AEEA categorieën.[7]

Ook de *Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA)* analyseerden de materiaalsamenstelling per categorie[10].

In Tabel 5 wordt een overzicht gegeven van de resultaten van bovenvermeld onderzoek, zowel wat betreft de onderzochte materialen als de overeenkomstige resultaten, voor de categorie van grote huishoudelijke apparaten zonder koelvries apparaten.

Tabel 5: Materiaalsamenstelling (afgedankte) grote huishoudelijke apparaten, excl. Koelvries, in gewichtsprocent

Material	Huisman7	EMPA10	WRAP[11]	DEFRA9	Recupel4
Ag	0,000015	0,0000077	0,0001		
Al (general)	1,68	14	10		
Au	0,0000035	0,00000067	0,0001		
Ceramics	0,069				
Non ferro					7,6
Cr	0,0000092				
Cu	3,20	12	4,375		
Fe	0,009		73,795		63,4
Stainless steel	1,67				
Steel low alloyed	54,22				
Ferrous metal		43			
Metals				64,8	
Glass (white)	0,74	0,017		2,9	
Hazardous components					0,5
In			0,0001		
Ni	0,000046				
Oil	0,0031				
Other/inerts	21,98				
Pb	0,0014	1,6			
PCB	0,0013				
Pd	0,0000018	0,0000003			

[8] Haig, S., Morrish, L. and Morton, R. (2012). Electrical Product Material composition, WRAP.
[9] DEFRA (2007). Trial to determine WEEE Protocol for category one large domestic appliances.
[10] http://www.ewasteguide.info/node/4074
[11] WRAP (2013). Market Flow Model of Electronic Products.

Plastics general	15,70	19	2,054	8,4	11,6
Brominated plastics		0,29			
PUR	0,31				
PVC	0,35				
Sb	0,000083				
Sn	0,047				
Cd		0,0014			
Hg		0,000038			
Zn	0,01				
Aggregates				16,4	
Other		10	9,7757	7,5	16,8
Total	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

Het UNEP rapport over metaalrecyclage[31] geeft nog andere samenstellingsgegevens weer:

Tabel 6: Materiaalsamenstelling GW met printplaten als materiaalgroep

Material [%]	Washing machine			Large white goods		
Reference	(Wecycle, 2011)	(Matusewicz and Reuter, 2008)	(Truttmann and Rechberger,2006)	(Wecycle, 2011)	(DEFRA, 2007)	(United Nations University, 2007)
Iron/Steel	52.1	50.6	50.7	54.9	54.3	54.2
Copper	1.2	1.4	2.4	1.4	5.6	2.2
Aluminium	3.1	0.8	2.6	2.5		1.7
Stainless Steel	1.9	–		5.4		1.7
Brass	0.1	0.0		0.1		-
Plastics	6.8	40.5	8.9	9.3	12.4	12.4
Rubber	2.8	0.3	2.1	2.2	2.9	2.8
Wood	2.6	–	3.3	2.8	1.8	1.8
Other organic material	0.1	–	–	1.0	0.3	0.0
Concrete	23.8	–	28.8	14.8	7.5	20.2
Other inert material	1.9	–	1.3	1.9	0.7	0.7
PWB	0.4	0.4	–	0.3	0.1	0.001
Cables	1.1	2.0	–	1.3	1.8	1.8
Other materials	2.1	4.0	–	2.0	12.7	0.5
Total	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**	**100.0**

Uit Tabel 5 en Tabel 6 blijkt dat materiaalsamenstellingen voor een bepaalde (inzamel)categorie zeer verschillend kunnen zijn, niet alleen in het aandeel van een bepaald materiaal, maar ook wat betreft de keuze van te onderscheiden materialen of materiaalgroepen (bvb. '*brominated plastics*'). Ook het aandeel van verschillende apparaat-types binnen een categorie varieert sterk. De materiaallijst wordt bovendien samengesteld in functie van de doelstellingen van het onderzoek waarin de samenstellingsgegevens gebruikt zullen worden. Tenslotte kan er opgemerkt worden dat in de verschillende samenstellingslijsten zowel materiaalgroepen (bvb. inerten), materialen (bvb. staal), elementen (bvb. goud) en componenten (bvb. PWB) in eenzelfde lijst kunnen opgenomen zijn.

Voor Vlaanderen is er geen publiek beschikbare informatie voorhanden over de verdeling van apparaat-types over de Recupel inzamelcategorieën, noch over de materiaalsamenstelling van de inzamelcategorieën.

We besluiten dat voor het nemen van concrete beleidsmaatregelen nieuwe analyses onontbeerlijk zijn, in het bijzonder in de categorieën waarin belangrijke technologische ontwikkelingen plaatsvinden in combinatie met een beperkte levensduur. Hierbij wordt zowel verwezen naar de samenstelling van productcategorieën per apparaat-type en per materiaal(groep) en/of component, als de samenstelling van apparaat-types per materiaal(groep) en/of component. Voor deze studie gaan we uit van de samenstellingsgegevens per productcategorie uit Huisman et al. (2007)[7], die terug te vinden zijn in BIJLAGE 4

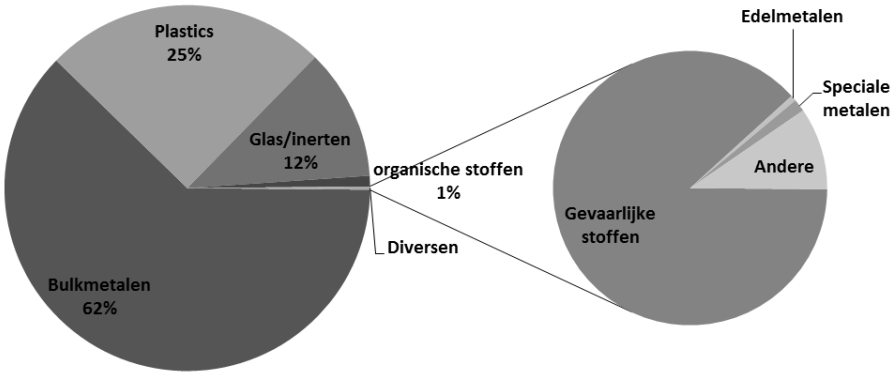
2.3 Berekening materiaalsamenstelling en –hoeveelheden Vlaams (A)EEA aan de hand van de massabalans voor 2011

Uit de combinatie van de samenstellingsgegevens per productcategorie van Huisman et al (2007)[7] met de gewichten per productcategorie uit de Belgische massabalans kunnen we afleiden welke en hoeveel materialen in de verschillende (A)EEA categorieën aanwezig zouden zijn. De resultaten zijn terug te vinden in Tabel 36, BIJLAGE 2 en Tabel 37, BIJLAGE 3. Hiervoor werden eerst verschillende veronderstellingen gemaakt wat betreft de overeenkomsten tussen de Europese categorisatie, de categorisatie gebruikt door Huisman et al. (2007)[7], en deze gebruikt in de Belgische massabalans[2] (zie Tabel 4):

- Grote huishoudelijke apparaten (GW): omvat de categorieën 1a (grote huishoudelijke apparaten) en 10 (automaten), maar niet 1b (koelvries) en 1c (kleinere grote huishoudelijke apparaten);
- Kleine huishoudelijke apparaten (OVE): omvat de categorieën 1c (kleinere grote huishoudelijke apparaten), 2 (kleine huishoudelijke apparaten), 5b (verlichtingsarmaturen), 8 (medische apparaten), 4a (consumentenelektronica), 6 (gereedschappen) en 7 (speelgoed, sport, vrije tijd);
- Informatica-apparatuur (OVE-IT): omvat categorie 3a (informatica-apparatuur);
- Beeldschermen (TVM): omvat categorieën 3b (CRT monitoren), 3c (LCD monitoren), 4b (CRT TV's), 4c (flat panel displays, of FPD). Voor EEA werden de categorieën 3b en 4b op nul gesteld, voor AEEA werd een verhouding CRT/FPD van 98/2 verondersteld[2], wat een hoeveelheid CRT-glas oplevert (11.810 ton, zie Tabel 37) van een vergelijkbare grootteorde als de hoeveelheid die door Recupel werd gerapporteerd in het Duurzaamheidsrapport 2012 in de categorie TVM onder '*CRT-glas, harde plastiek stukjes, fluorescent materiaal van lampen met en zonder lood, kwik (zuiver en onzuiver), tonermateriaal, varia en andere gevaarlijke stoffen'*, namelijk 12.950 ton. Niet alle vrijkomende TVM wordt evenwel effectief geregistreerd wordt door erkende verwerkers. De Belgische massabalans schat in dat in 2011 80% van de TVM via Recupel werd ingezameld.
- Koelvries apparaten (KV): omvat 1b (koelvries);
- Lampen (LMP): omvat 5a (lampen);

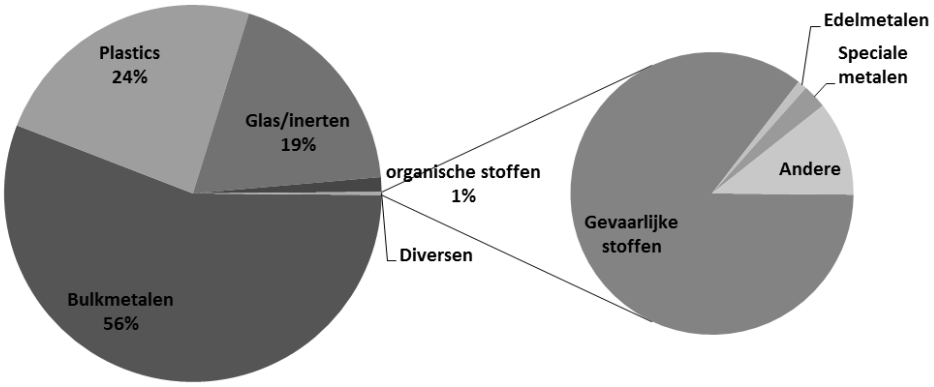
- Professionele apparatuur (PROF): wordt niet behandeld in deze studie, bevat een deel van de apparaten die ook zouden kunnen worden ingedeeld in de categorieën 1a, 1b, 3a, 6, 8 of 9, plus alle apparaten die vallen onder categorie 10. De samenstellingsgegevens van categorie 10 zijn samen met die van 1a verrekend onder 'grote huishoudelijke apparaten (GW)', maar hun invloed op de gemiddelde samenstelling is zeer beperkt, omdat categorie 10 slechts 0,18% van de ingezamelde AEEA uitmaakt, tegenover 27,7% voor categorie 1a.

In Figuur 1Figuur 2 wordt de resulterende verdeling gegeven van de verschillende materiaalgroepen van de op de markt gebrachte EEA over alle productcategorieën, in België, voor 2011. Gedetailleerde resultaten per categorie en per materiaal zijn terug te vinden in BIJLAGE 2. We gaan er van uit dat voor Vlaanderen eenzelfde samenstelling geldt. Fe, Al, Zn, Sn, Ni, Pb en Cu-rijke materialen werden bij de bulkmetalen ingedeeld; Sb, Co, Bi bij de speciale metalen; Ag, Au, Pd bij de edelmetalen; As, Cd, Hg bij de gevaarlijke stoffen.



Figuur 1: Verdeling van verschillende materiaalgroepen over alle EEA (uitgez. PROF) 2011

In Figuur 2 wordt de verdeling van materiaalgroepen weergegeven voor de in 2011 vrijgekomen AEEA. Gedetailleerde resultaten per categorie en per materiaal zijn terug te vinden in BIJLAGE 3.



Figuur 2: Verdeling van verschillende materiaalgroepen over alle AEEA (uitgez. PROF) 2011

Uit de absolute hoeveelheden materialen in AEEA en EEA voor een bepaald jaar kan afgeleid worden voor welke materialen het aanbod op een betekenisvolle manier zal veranderen over de komende jaren. Veranderingen in materiaalaanbod (in ton en %) afkomstig van in 2011 verkocht EEA (BIJLAGE 2) van meer dan 35% ten opzichte van het AEEA aanbod voor datzelfde jaar (BIJLAGE 3) worden weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7: Verandering materiaalaanbod in ton EEA t.o.v. AEEA voor 2011 voor materialen met relatieve verschuiving > 35%

	KV	GW	OVE	OVE-IT	TVM	LMP	Δ TOTAAL	% Δ EEA/AEEA
Glas/inerten/andere								
Glass (white)	+39	+80	+6	-	+2.006	-	**+2.131**	**+392**
Glass (LCD)	-	-	+0	+2	+50	-	**+52**	**+357**
CRT-glasscone	-	-	-	-	-3.928	-	**-3.928**	**-100**
CRT-glassscreen	-	-	-	-	-7.883	-	**-7.883**	**-100**
Bulk/basismetalen	-	-	-	-	-	-	**-**	
Fe	+1.079	+1	+594	+34	+890	-	**+2.599**	**+42**
Pb	-	-0	+2	-0	-13	-	**-11**	**-39**
Speciale metalen	-	-	-	-	-	-	**-**	
Sb	-	+0,01	+0,17	+0,08	-3,65	-	**-3,39**	**-65**
Bi	-	-	+0,04	+0,02	-0,64	-	**-0,58**	**-62**
Gevaarlijke stoffen	-	-	-	-	-	-	**-**	
Hg	+0,00	-	+0,00	+0,00	+0,03	+0,01	**+0,04**	**+63**
Br	-	-	+0	+1	-12	-	**-11**	**-62**
plastics/kunstharsen	-	-	-	-	-	-	**-**	

PET	-	-	-	-	+12	-	**+12**	**+3.076**
PE(HD)	-	-	-	-	+60	-	**+60**	**+3.076**
Epoxy	-	-	+15	-	-346	-	**-331**	**-81**
Andere	-	-	-	-	-	-	**-**	
Cr	-	-0	-0	-0	-3	-	**-3**	**-50**
Totaal alle materialen(*)	**+5.292**	**+10.712**	**+10.011**	**+1.785**	**-8.226**	**+255**	**+19.831**	

(*) Inbegrepen de materialen met een relatieve verschuiving <35%

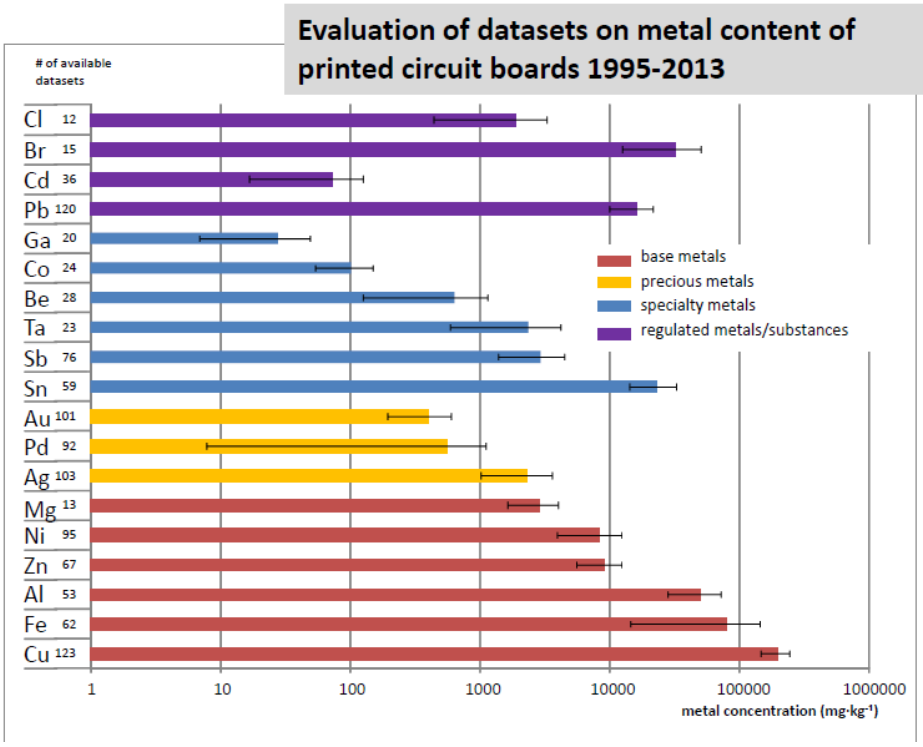
Materialen die typisch aanwezig zijn in CRT TV's en monitors zullen sterk afnemen, met name CRT glas, lood en zilver. Anderzijds neemt in absolute cijfers het aanbod van laag-gelegeerd staal en plastics sterk toe in verschillende categorieën, respectievelijk met ongeveer 15.000 en 6.000 ton. Dergelijke veranderingen gebeuren uiteraard geleidelijk, afhankelijk van de levensduur van elk van de apparaat-types die vervat zijn in een bepaalde categorie. Het totale ingeschatte gewicht van in 2011 in Vlaanderen op de markt gezet EEA ligt 19.831 ton hoger dan het gewicht van het vrijkomend AEEA voor datzelfde jaar. De toename is vooral terug te vinden in de categorieën GW en OVE.

Bovenop de verschuivingen in materiaalsamenstelling die te wijten zijn aan de toename of afname in de tijd van het op de markt gebrachte volume van elke van de productcategorieën, zal uiteraard ook de materiaalsamenstelling binnen elke productcategorie nog veranderen. Dergelijke veranderingen zijn niet opgenomen in Tabel 7, en moeilijker te voorspellen.

2.4 Berekening materiaalsamenstelling en –hoeveelheden Vlaams GW en OVE-IT aan de hand van door Recupel gerapporteerde hoeveelheden voor 2012

In samenspraak met de opdrachtgever werd besloten een gedetailleerde analyse uit te voeren op twee productcategorieën, namelijk groot witgoed zonder koelvries (GW) en overig IT (OVE-IT). Voor de bepaling van materiaalsamenstelling en –hoeveelheden Vlaams GW en OVE-IT werd als volgt tewerk gegaan:

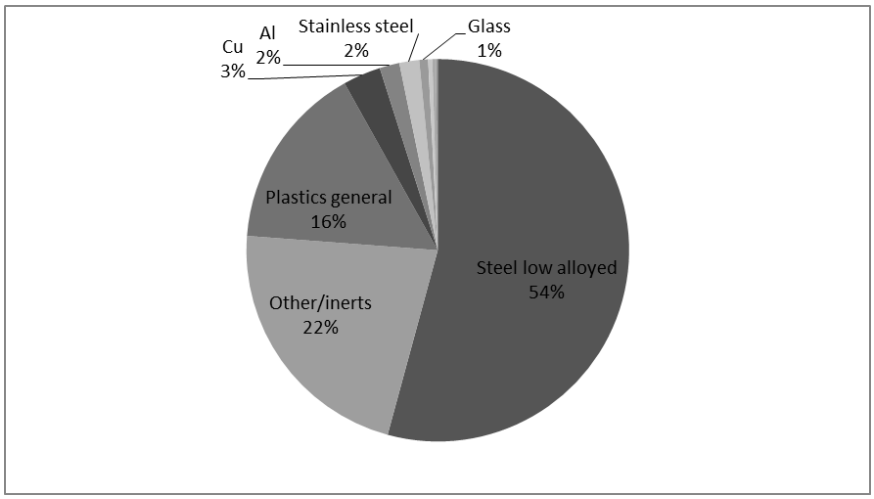
- Voor de samenstellingsgegevens per productcategorie werden de data overgenomen uit Huisman et al. (2007)7. Voor groot witgoed kan deze keuze verantwoord worden op basis van de relatief lange levensduur van deze apparaten en de ogenschijnlijk minder snel evoluerende materiaalsamenstelling. Voor overig IT (laptops, desktops, printers, telefoons,…) gaat deze verantwoording niet op, en zijn de inschattingen naar materiaalsamenstelling dus waarschijnlijk minder nauwkeurig. Toch werd besloten de basisgegevens voor beide categorieën uit dezelfde bron te betrekken. Een van de argumenten hiervoor is dat de concentratie van edelmetalen op de printplaten -de belangrijkste driver voor de recyclage van overig IT- vrij constant is in de tijd (zie Figuur 3), met uitzondering van palladium.

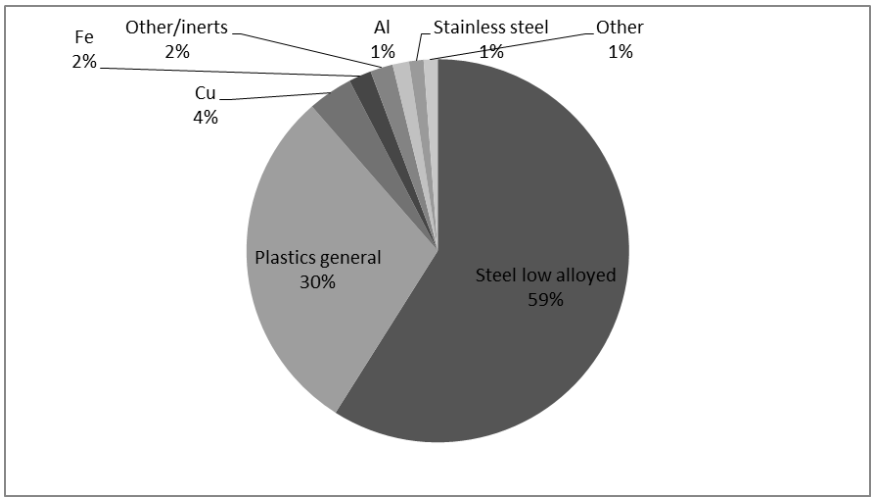


Figuur 3: Standaardafwijking metaalconcentratie op printplaten (1995-2013)[12]

Een ander argument bestaat er in dat er geen recente, betrouwbare, publieke gegevens werden gevonden die een productsamenstelling van de categorie OVE-IT combineren met de materiaalsamenstelling van de afzonderlijke apparaat-types die onder deze categorie vallen. Tenslotte werden de gegevens uit Huisman ook voor overig IT weerhouden om de vergelijking met de verwerkingsresultaten van groot witgoed consistent te maken. Het volledige resultaat is terug te vinden in Tabel 38, BIJLAGE 4.

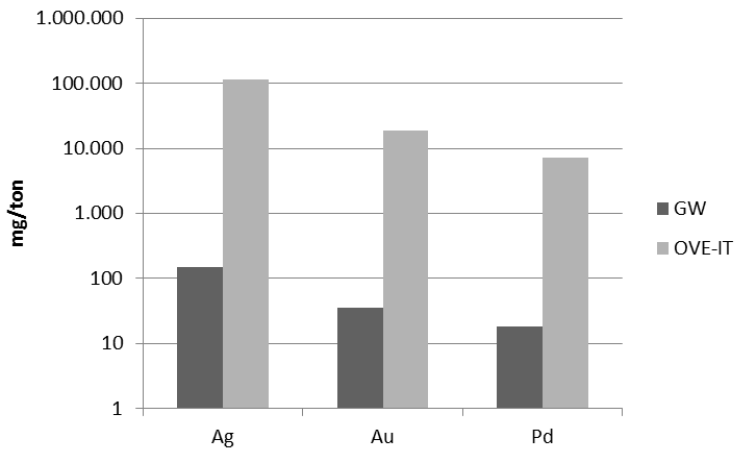
[12] http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_wasserwesen/iaa/service/skripte/ws_13_14/20_kolloqu_iaa_2013_14/090114%20S_Rotter%20Recycling%20von%20Metallen.pdf





Figuur 4: Relatieve samenstelling GW (boven) en OVE-IT (onder) op gewichtsbasis

Uit Figuur 4 blijkt dat er opvallende verschillen zijn in de relatieve hoeveelheden plastics en inerte materialen. Het groot aandeel inerte materialen in groot witgoed is voornamelijk te wijten aan de betonnen gewichten in wasmachines. De belangrijkste verschillen tussen GW en OVE-IT met het oog op materiaalrecyclage liggen in de concentraties van edelmetalen, zoals weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Concentratie van edelmetalen in GW en in OVE-IT, met logaritmische schaal

- Voor de hoeveelheden AEEA van beide categorieën werden de door Recupel ingezamelde hoeveelheden overgenomen. Aangezien het via Recupel geregistreerde aanbod slechts een gedeelte uitmaakt van het totale aanbod, werd de verdeling van AEEA over verschillende verwerkingsroutes zoals die werd bepaald in de Belgische massabalans, aangenomen. Voor GW werd deze verdeling aangepast bij de doorvertaling naar Vlaamse hoeveelheden (zie 3.2).

3. Verwerkingsroutes van Vlaams AEEA

3.1 Routes verwerking Belgisch AEEA

Uit de massabalans blijkt dat er in België in 2011 ongeveer 245 kton AEEA vrijkomt. Het vrijgekomen AEEA volgt verschillende routes, die geanalyseerd werden in het Recupel rapport[2]. De gevolgde route is bepalend voor de manier waarop de eindverwerking van de AEEA zal plaatsvinden:

- Ongeveer 30% (75 kton) van de vrijgekomen AEEA kon niet gedocumenteerd worden, zodat het voor dit deel van de AEEA (nog) niet mogelijk is te achterhalen hoe de eindverwerking gebeurt.
- 47% (115 kton) komt via het Recupel-systeem en de individuele plannen van bedrijven bij erkende nationale verwerkers terecht Hier gebeurt de opslag, overslag, demontage, sortering, depollutie, mechanische behandeling en ontmanteling van AEEA, en het shredden van onderdelen. De verschillende fracties die hierbij vrijkomen worden verder verwerkt tot grondstoffen, ingezet voor de recuperatie van hun energie-inhoud, of gestort.
- 6% (15 kton) komt bij nationale verwerkers terecht onder de vorm van voorshreddermateriaal, buiten het Recupel-systeem om. Ook voor deze fractie kan de eindverwerking achterhaald worden.
- 7% (17 kton) komt in het restafval terecht, en wordt op dezelfde manier verwerkt, voornamelijk door verbranding. Een deel van de aanwezige metalen komt in het bodemas terecht, en kan op deze manier nog gerecycleerd worden.
- 9% (23 kton) wordt uitgevoerd. De verwerking van dit deel van de AEEA valt buiten de nationale bevoegdheden.

In de volgende hoofdstukken wordt, vertrekkende vanuit de verdeling over de verschillende verwerkingsroutes van Belgisch AEEA van de categorieën GW en OVE-IT, eerst een inschatting gemaakt van de verdeling over dezelfde verwerkingsroutes van het Vlaamse AEEA van die categorieën. De hoeveelheden Vlaams AEEA onder GW en OVE-IT worden betrokken uit de aan Recupel gerapporteerde cijfers. De niet aan Recupel gerapporteerde hoeveelheden worden bekomen vanuit de eerder ingeschatte verdeling over de verwerkingsroutes voor de Vlaamse GW en OVE-IT AEEA.

3.2 Routes verwerking Vlaams groot witgoed (GW)

3.2.1 Hergebruik via Recupel

In 2012 werd aan Recupel een volume van GW voor hergebruik gerapporteerd van **665 ton** (inbegrepen Komosie, charter-operatoren en invoerders/fabrikanten lid bij Recupel). Het hergebruik kan ook plaatsvinden buiten Vlaanderen (België, Europa, rest van de wereld).

3.2.2 Recyclage via Recupel

De Milieubeleidsovereenkomst betreffende de aanvaardingsplicht voor afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA) voorziet in de rapportage van recyclageresultaten. De resultaten van 2012 zijn weergegeven in Figuur 6.

Recyclageresultaten*: wettelijke doelstellingen behaald

	GW	KV	TVM	OVE	LMP	RESULTAAT PER MATERIAALSTROOM	WETTELIJKE OBJECTIEVEN**
FERRO- MATERIALEN	100%	100%	100%	100%	100%	100%	95%
NON-FERRO MATERIALEN	100%	100%	100%	99,85%	100%	99,93%	95%
KUNSTSTOF	95,48%	99,66%	88,05%	96,04%	100%	95,21%	80%
OVERIGE	42,16%	35,71%	91,81%	6,31%	93,22%	59,46%	
RESULTAAT PER FRACTIE	90,17%	96,23%	93,05%	81,87%	93,43%		
WETTELIJKE OBJECTIEVEN**	85%	85%	70%	75%	80%		

* Recyclage = valorisatie van de materialen
** Objectieven opgelegd door de Milieubeleidsovereenkomsten

Figuur 6: Recyclageresultaten Recupel Jaarverslag 2012

Deze recyclageresultaten geven de percentages weer, per productcategorie, van de ingezamelde materialen die gevaloriseerd werden. De rapportage van de recyclageresultaten gebeurt conform de Artikel 11.2 van de Richtlijn 2012/19/EU: of de streefcijfers werden behaald, wordt voor elke categorie berekend door het gewicht van de AEEA dat de inrichting voor nuttige toepassing of voor recycling/voorbereiding voor hergebruik **binnenkomt**, na passende verwerking overeenkomstig artikel 8, lid 2, wat nuttige toepassing of recycling betreft, te delen door het gewicht van alle gescheiden ingezamelde AEEA voor elke categorie, uitgedrukt als percentage. De percentages geven dus niet weer hoeveel materiaal er na recyclage aan de markt van secondaire grondstoffen wordt aangeboden.

In Vlaanderen zijn er 117 bedrijven erkend voor de opslag, sortering, ontmanteling en/of verwerking van AEEA[13].

De verwerking van grote huishoudelijke apparaten bestaat uit verschillende stappen[14] [15] [16] [17] [18]. De eerste twee stappen vinden niet altijd plaats.

- Voorbereiding door verwijdering van elektrische kabels en andere losse of gemakkelijk te verwijderen onderdelen.
- Gedeeltelijke demontage voor depollutie, eventueel verwijdering van zout water (wasmachines) en verwijdering van condensatoren
- Verkleining door shredden

[13] http://217.21.184.150/LijstenWebService/jsp/lijst.jsp
[14] http://www.ivago.be/thuisafval/afvalgids/elektro
[15] http://www.galloo.com/node/4
[16] VROM-inspectie (2010). Recycling elektrische en elektronische apparaten. Den Haag, Netherlands.
[17] www.erp-recycling.co.uk/get_document.php?id=406
[18] http://panasonic.net/eco/petec/material/#WASH

- Scheiden van fracties: magnetische scheiding van ijzerhoudende fracties, scheiding van non-ferro fractie door inductie. Er wordt ook een gemengde fractie bekomen met plastics, rubber en andere materialen.
- Scheiden van de non-ferro-fractie in zuivere non-ferro metalen door sink-float, eddy current en sensor- en luchttechnieken.

In 2012 werd er in Vlaanderen **19.966 ton** AEEA van de Europese categorie 1A (grote huishoudelijke apparaten zonder koelvries) aangeboden voor verwerking[4]. Vermoedelijk zit hierin ook een deel apparaten die voor de Belgische inzamelcategorieën onder OVE worden geregistreerd (bvb. kleinere apparaten zoals microgolfovens). Daarom gebruiken we verder in deze studie de cijfers voor de inzamelcategorie GW. In totaal werd er **17.159 ton** Vlaams GW ingezameld onder Recupel[4]. De gerapporteerde fractie GW uit Vlaanderen aangeboden voor verwerking bedraagt **15.445 ton**[4] De verwerking van rechtstreeks door Recupel ingezamelde volumes (zonder hergebruik) leidt tot een materiaalstroom van 14.275 ton[4], terwijl charter-operatoren en Recupel-leden goed zijn voor 1.154 ton[4], samen **15.429 ton**[4].

3.2.3 Recyclage via niet-Recupel

3.2.3.1 Shredders & EERA

Volgens de Belgische massabalans (Tabel 1) komt 47% van de AEEA via het Recupel-systeem en de individuele plannen van bedrijven bij erkende nationale verwerkers, terwijl 6% bij nationale verwerkers terechtkomt onder de vorm van voorshreddermateriaal, buiten het Recupel-systeem om.

Voor grote huishoudelijke apparaten (GW) bedraagt volgens de Belgische massabalans het Recupel-aandeel 39,7% van de totale hoeveelheid afgedankt GW, terwijl 12,1% verwerkt wordt door shredders buiten het systeem (zie Tabel 1). Het gaat dan bijvoorbeeld over regionale schrootbedrijven die gemengd schroot (voorshreddermateriaal) ontvangen waarin een beperkt aandeel AEEA aanwezig is. Er vinden ook onderlinge doorleveringen plaats tussen regionale schrootbedrijven. De trend bestaat bovendien dat aanbieders gedeeltelijk gedemonteerde of gedepollueerde AEEA aanbieden. Hierdoor zijn bij de verwerkers zowel de volumes als de productcategorieën nog moeilijk te onderscheiden, en moet de verdeling dus ingeschat worden. GW, met een belangrijk percentage staal in stukken van grote afmetingen, komt meer dan andere productcategorieën terecht in gemengde stromen die uiteindelijk bij nationale schrootbedrijven verwerkt worden. In Vlaanderen bedraagt het percentage (niet-geregistreerd) AEEA in voorshreddermateriaal ruwweg echter slechts 60% van het aandeel dat ingeschat werd voor België (1,25% tegenover 2%)[2]. We gaan er hier niet van uit dat deze AEEA verdeeld wordt over andere niet-geregistreerde volumes, maar wel van een hogere registratiegraad, en dus van een groter Recupel-aandeel voor Vlaanderen. We nemen ook aan dat de hoeveelheid voorshreddermateriaal per inwoner vergelijkbaar is in Vlaanderen en België. Op deze manier bepalen we dat voor GW, het aandeel dat verwerkt wordt door shredders buiten het systeem 7,6% bedraagt (1,25%/2% x 12,1%). De resterende 4,5% (= 12,1% - 7,6%) wordt in Vlaanderen geregistreerd, waardoor het Recupel-

aandeel van 39,7% in België tot **44,3%** oploopt in Vlaanderen. Aan de hand van dit percentage schatten we de in 2012 vrijgekomen hoeveelheid GW in op **38.776 ton** (= 17.159 ton/0,443). **2.936 ton** (= 38.734 ton X 7,6%) wordt in Vlaanderen aangeboden onder de vorm van voorshreddermateriaal. De verwerking van dit materiaal gebeurt in grote lijnen op dezelfde manier als het geregistreerde GW, eventueel uitgezonderd depollutie. Deze cijfers zijn opgenomen in Tabel 8.

Tabel 8: Inschatting van niet-geregistreerd GW verwerkt door shredders

	kg/inw 2011 (België)2	Ton 2012 (Vlaanderen)	Kg/inw 2012 (Vlaanderen)	%
GW op de markt	8,53	34.8614	5,47	
Vrijkomende GW	6,85	***38.776***	6,07	100,0
Geregistreerd	2,72	17.1594	2,69	44,3
Niet geregistreerd	4,13	21.617	3,39	55,7
Shredders & EERA	0,83	***2.936***	0,46	7,6

Net als uit Tabel 3 blijkt ook hieruit dat het op de markt gebrachte GW zoals berekend voor de Belgische massabalans voor 2011 (8,53 kg/inwoner), veel hoger ligt dan de door Recupel vastgestelde hoeveelheid voor 2012 (5,47 ton/inwoner) in Vlaanderen.

3.2.3.2 Export van AEEA in voorshredder materiaal naar buurlanden

In de Belgische massabalans werd geschat dat 11,5% van het vrijkomende GW als voorshredder materiaal naar buurlanden wordt uitgevoerd. Dit komt neer op **4.472 ton** voor Vlaanderen (zie Tabel 9). We veronderstellen dat de verwerking niet wezenlijk verschilt van de verwerking van gemengd schroot in België.

3.2.3.3 Export van AEEA als monostroom naar Nederland

Ook deze stroom (1,5% van het vrijkomend GW) verschilt qua samenstelling en verwerking waarschijnlijk niet van het voorshreddermateriaal dat verwerkt wordt in België[16].

3.2.3.4 Export van (A)EEA naar landen buiten Europa

Omdat de haven van Antwerpen een belangrijke schakel vormt in de uitvoer van (A)EEA, is het mogelijk dat er verhoudingsgewijze meer Vlaams dan Belgisch (A)EEA wordt uitgevoerd. Omdat hiervoor echter geen gegevens bekend zijn, gaan we uit van hetzelfde percentage als in de Belgische massabalans (3,2% van het vrijkomend GW, of **1.245 ton**). Een groot gedeelte van alle vrijkomend GW dat Europa verlaat zal hergebruikt worden.

3.2.3.5 AEEA in het restafval

Er komen om evidente redenen geen grote huishoudelijke apparaten in het restafval terecht.

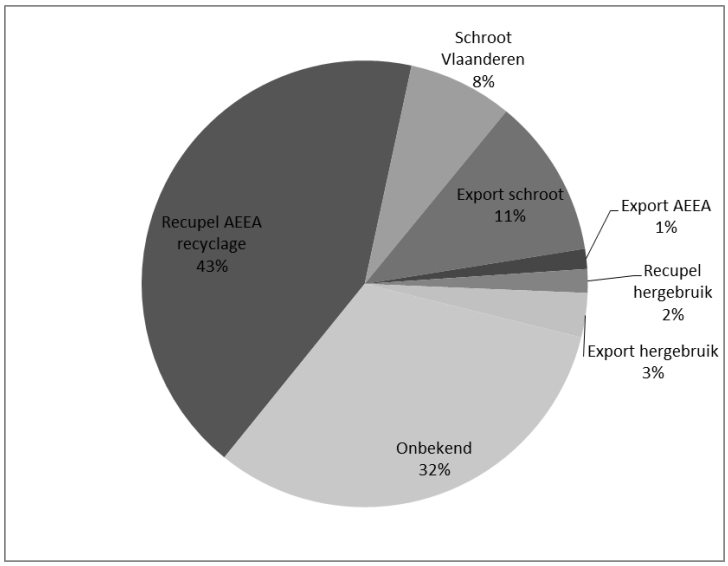
3.2.4 Overzicht verdeling verwerkingsroutes recyclage Vlaams GW

In Tabel 9 worden de volumes Vlaams GW in de verschillende verwerkingsroutes gekwantificeerd.

Tabel 9: Volume GW per verwerkingsroute

	kg/inw 2011 (België)2	Ton 2012 (Vlaanderen)	Kg/inw 2012 (Vlaanderen)	%
GW op de markt	8,53	34.8614	5,47	
Vrijkomende GW	6,85	***38.776***	6,08	100,0
Geregistreerd	2,72	17.1594	2,69	44,3
Niet geregistreerd	4,13	21.575	3,38	55,7
Shredders & EERA	0,83	2.936	0,46	7,6
Export Schroot	0,79	4.472	0,70	11,5
Export GW hergebruik	0,22	1.245	0,20	3,2
Export GW Nederland	0,1	566	0,09	1,5
GW in het restafval	0	0	0	0
Onbekend	**2,19**	**12.397**	**1,94**	**32,0**

In Figuur 7 wordt het via Recupel geregistreerde volume GW verder onderverdeeld in een gedeelte voor recyclage en een gedeelte dat klaargemaakt wordt voor hergebruik.



Figuur 7: Bestemming in Vlaanderen vrijkomend GW

3.3 Routes verwerking Vlaams overig IT (OVE-IT)

In de Belgische massabalans wordt de (A)EEA categorie OVE-IT geïntroduceerd, met laptops en desktops incl. accessoires, telefoons, printers en spelcomputers[19]. Dit voorstel van indeling verschilt van de indeling van EEA opgenomen in Annex III van de AEEA Richtlijn: in Annex III worden laptops en desktops ingedeeld bij '*Screens, monitors, and equipment containing screens having a surface greater than 100 cm²*'; telefoons en printers bij '*Small IT and telecommunication equipment (no external dimension more than 50 cm)*'; en de meeste spelcomputers worden waarschijnlijk gecategoriseerd als '*Small equipment (no external dimension more than 50 cm)*".

Voor de samenstelling van de categorie OVE-IT gebruiken we, net als voor GW, gegevens uit Huisman et al. (2007)[7]. Hier wordt de Europese categorie '*3. IT and telecom equipment'* onderverdeeld in:

- 3a IT and Telecom excl. CRT's (IT ex CRT)
- 3b CRT monitors (IT CRT)
- 3c LCD monitors

De categorie 3a bevat '*printers, copying equipment, facsimile equipment, telephones (fixed and mobile), including answering equipment, calculators, computers (desktop and laptop)*', wat overeenkomt met de in de massabalans voorgestelde inzamelcategorie van OVE-IT. Voor wat betreft de samenstelling van printplaten wordt de categorie 3a nog verder onderverdeeld:

- 3a1 ex CRT PC's
- 3a2 ex CRT Printing devices
- 3a3 ex CRT Small IT

[19] Spelcomputers komen in toenemende mate in deze categorie terecht, omdat ze steeds minder op speelgoed lijken en meer op PC's[7]

Er bestaat op dit moment nog geen Recupel inzamelcategorie OVE-IT. Er zijn enkel gegevens beschikbaar voor de Europese categorie '*3. IT- en telecommunicatieapparatuur*', opgesplitst in '*3a IT- en telecommunicatieapparatuur (excl. beeldbuishoudend)',* en '*3b IT- en telecommunicatieapparatuur (beeldbuishoudend)'*. De Recupel productcategorie 03.02 komt beter overeen met OVE-IT, omdat ze CRT en niet-CRT monitoren uitsluit. De inzameling en verwerking van de productcategorie 03.02 wordt echter niet afzonderlijk gerapporteerd. Daarom vertrekken we voor deze studie voor OVE-IT van de Recupelcijfers[4] voor de product- en inzamelcategorie 3a, waarop we vervolgens de verdeling volgens de Belgische massabalans op toe passen. Hierbij moet opgemerkt worden dat deze Recupel cijfers ook flatscreen monitoren bevatten (plasma, LCD, LED, OLED), die voor de Belgische massabalans bij TVM werden ingedeeld. Het is echter aannemelijk te veronderstellen dat het aandeel van flatscreen monitoren in de categorie 3a alsnog onbeduidend is. Tenslotte hanteert Recupel slechts één gemiddeld recyclagepercentage voor het totale volume apparaten begrepen onder de Europese productcategorieën 2, 3a, 4a, 5, 6, 7, 8 en 9.

3.3.1 Hergebruik via Recupel

In 2012 werd aan Recupel een volume van OVE-IT voor hergebruik gerapporteerd van **68 ton** (inbegrepen Komosie, charter-operatoren en invoerders/fabrikanten lid bij Recupel). Het hergebruik kan ook plaatsvinden buiten Vlaanderen (België, Europa, rest van de wereld).

3.3.2 Recyclage via Recupel

In 2012 werd er in Vlaanderen **7.596 ton** AEEA van de Europese categorie 3A (IT- en telecommunicatieapparatuur (excl. beeldbuishoudend)) ingezameld via Recupel, en werd **8.017 ton** aangeboden voor verwerking[4]. De verwerking van rechtstreeks door Recupel ingezamelde volumes (zonder hergebruik) leidt tot een materiaalstroom van 6.789 ton[4], terwijl charter-operatoren en Recupel-leden goed zijn voor 1.184 ton[4], samen **7.973 ton**[4].

3.3.3 Recyclage via niet-Recupel

De Belgische massabalans onderscheid wel een EEA productcategorie van OVE-IT, maar geen AEEA inzamelcategorie. De apparaten uit de eigenlijke OVE-IT inzamelcategorie -de Europese categorie 3a- zijn in de massabalans dus mee verrekenend in de veel grotere OVE inzamelcategorie. Deze omvat een zeer grote verscheidenheid aan apparaten, namelijk de Europese productcategorieën 1, 2, 4a, 5b, 6, 7 en 8. Voor 2011, het referentiejaar voor de Belgische massabalans, werd berekend dat de IT-fractie binnen de OVE inzamelcategorie een gewichtsaandeel had van ongeveer 25%. In de volgende secties wordt aangenomen dat OVE-IT eenzelfde verdeling volgt over de verschillende verwerkingsroutes als de grotere groep OVE apparaten, en dus 25% uit maakt van het gewicht in elke route. Dit is, gezien de afwijkende apparaatsamenstelling, waarschijnlijk niet het geval. OVAM geeft aan dat OVE-IT meer naar export en hergebruik gaat in vergelijking met de OVE inzamelcategorie waar het OVE-IT deel van uitmaakt.

3.3.3.1 Shredders & EERA

Voor kleine huishoudelijke apparaten (OVE), waarin de categorie OVE-IT is begrepen, bedraagt volgens de Belgische massabalans (Tabel 1) het Recupel-aandeel 40,7% van de totale hoeveelheid afgedankt OVE, terwijl 3,5% verwerkt wordt door shredders buiten het systeem (zie Tabel 1). Naar analogie met wat berekend werd onder sectie 3.2.3.1 bedraagt in Vlaanderen het percentage (niet-geregistreerd) AEEA in voorshreddermateriaal ruwweg echter slechts 60% van het aandeel dat ingeschat werd voor België (1,25% tegenover 2%)[2]. We gaan er ook voor OVE niet van uit dat deze AEEA verdeeld wordt over andere niet-geregistreerde volumes, maar wel van een hogere registratiegraad, en dus van een groter Recupel-aandeel voor Vlaanderen. We nemen ook aan dat de hoeveelheid voorshreddermateriaal per inwoner vergelijkbaar is in Vlaanderen en België. Op deze manier bepalen we dat voor OVE, het aandeel dat verwerkt wordt door shredders buiten het systeem 2,2% bedraagt (1,25%/2% x 3,5%). De resterende 1,3% (= 3,5% - 2,2%) wordt in Vlaanderen geregistreerd, waardoor het Recupel-aandeel van 40,7% in België tot **42,0%** oploopt in Vlaanderen. Aan de hand van dit percentage voor de overkoepelende OVE inzamelcategorie schatten we de in 2012 vrijgekomen hoeveelheid OVE-IT in op **18.088 ton** (= 7.596 ton/0,42). **397 ton** (= 18.088 ton X 2,2%) wordt in Vlaanderen aangeboden onder de vorm van voorshreddermateriaal. De verwerking van dit materiaal gebeurt in grote lijnen op dezelfde manier als het geregistreerde OVE-IT. Deze cijfers zijn opgenomen in Tabel 10.

Tabel 10: Inschatting van niet-geregistreerd OVE-IT verwerkt door shredders

	kg/inw 2011 (België)2	Ton 2012 (Vlaanderen)*	Kg/inw 2012 (Vlaanderen)*	%
OVE-IT op de markt	2,20	36.7894	5,77	
Vrijkomende OVE-IT	2,03	***18.088***	2,84	100
Geregistreerd	0,83	7.5964	1,19	42,0
Niet geregistreerd	**1,20**	**10.492**	**1,65**	**58,0**
Shredders & EERA	0,12	397	0,06	2,2

* Inbegrepen niet-CRT televisies en monitoren

Het dient opgemerkt te worden dat de Recupelcijfers 2012 voor de categorie 3a zowel OVE-IT omvatten als niet-CRT televisies en monitoren. Volgens de Belgische massabalans werden er in 2011 1,64 kg/inwoner van dergelijke apparaten verkocht in België, wat neerkomt op meer dan 10.000 ton in Vlaanderen. De 36.789 ton uit Tabel 10 Tabel 1moet dus verminderd worden met deze hoeveelheid om het eigenlijke gewicht aan op de markt gebrachte OVE-IT te kennen. Voor de (geregistreerde) hoeveelheden vrijkomend OVE-IT geldt dezelfde bemerking. Hoewel het aanbod van plasma, LCD, LED en OLED schermen als OVE AEEA proportioneel minder relevant zal zijn dan voor de nieuw op de markt gebrachte apparaten, zijn de uit de Recupel-categorie 3a berekende tonnages dus alleszins een overschatting.

3.3.3.2 Export van AEEA in voorshredder materiaal naar buurlanden

In de Belgische massabalans werd ingeschat dat 3,1% van het vrijkomende OVE als voorshredder materiaal naar buurlanden wordt uitgevoerd. Dit komt neer op **569 ton** OVE-IT voor Vlaanderen (zie Tabel 11). We veronderstellen dat de verwerking niet wezenlijk verschilt van de verwerking van gemengd schroot in België.

3.3.3.3 Export van AEEA als monostroom naar Nederland

Ook deze stroom (0,7% van het vrijkomend OVE) verschilt qua samenstelling en verwerking waarschijnlijk niet van het voorshreddermateriaal dat verwerkt wordt in België[16].

3.3.3.4 Export van (A)EEA naar landen buiten Europa

Ook hier gaan we uit van hetzelfde percentage als in de Belgische massabalans (1,7% van het vrijkomend GW, of **307 ton**). Een gedeelte van het OVE-IT dat naar landen buiten Europa wordt geëxporteerd wordt daar hergebruikt, terwijl de rest wordt gedemonteerd of anderszins verwerkt omwille van de materiaalwaarde in koper en edelmetalen.

3.3.3.5 AEEA in het restafval

18,5% van het Belgisch OVE komt in het restafval terecht. Het Vlaamse restafval wordt verbrand. Het gaat over een significante hoeveelheid van **3.350 ton**.

3.3.4 Overzicht verdeling verwerkingsroutes Vlaams OVE-IT

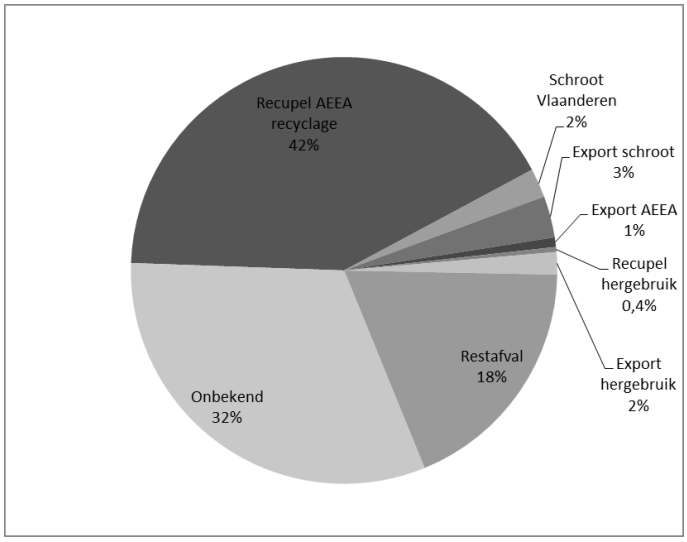
In Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van de volumes Vlaams OVE-IT in de verschillende verwerkingsroutes.

Tabel 11: Volume OVE-IT per verwerkingsroute

	kg/inw 2011 (België)2	Ton 2012 (Vlaanderen)*	Kg/inw 2012 (Vlaanderen)*	%
OVE-IT op de markt	2,20	36.7894	5,77	
Vrijkomende OVE-IT	2,03	18.088	2,84	100
Geregistreerd	0,83	7.5964	1,19	42,0
Niet geregistreerd	**1,20**	**10.492**	**1,65**	**58,0**
Shredders & EERA	0,12	397	0,06	2,2
Export Schroot	0,11	569	0,09	3,1
Export OVE-IT hergebruik	0,06	307	0,05	1,7
Export OVE-IT Nederland	0,02	131	0,02	0,7
OVE-IT in het restafval	0,62	3.350	0,53	18,5
Onbekend	**0,28**	**5.737**	**0,90**	**31,7**

* Inbegrepen niet-CRT televisies en monitoren

In Figuur 8 wordt het via Recupel geregistreerde volume OVE-IT verder onderverdeeld in een gedeelte voor recyclage en een gedeelte dat klaargemaakt wordt voor hergebruik.



Figuur 8: Bestemming in Vlaanderen vrijkomend OVE-IT

4. Aan Recupel gerapporteerde materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams GW

4.1 Recyclage via Recupel op basis van gerapporteerde Eural-codes

Het recyclageproces begint bij de eerste opslag en eindigt wanneer een product, materiaal of stof wordt bekomen die toegepast kan worden voor het oorspronkelijke of een ander doel. Aangezien er beroep kon worden gedaan op de gegevens die via de rapportagetool **RepTool** worden ingezameld, werden in eerste instantie de geaggregeerde aan Recupel gerapporteerde outputgegevens van de mechanische voorbehandelingen gebruikt.

Uit de bekomen resultaten bleek echter de noodzaak om bij dit onderzoek de bestaande recyclageprocessen van Vlaams AEEA te inventariseren, waarbij voor elke stap de efficiëntie werd bekeken en ingeschat.

Omwille van de wettelijke vereisten betreffende de verwerking van afval, worden de bekomen fracties ingedeeld volgens de Eural Afvalcodes (www.eurowaste.be/pdf/eural-codes.pdf). In Tabel 13 worden op die manier de omvangrijkste fracties weergegeven afkomstig van de verwerking van de rechtstreeks door Recupel ingezamelde volumes aan groot witgoed, dit wil zeggen zonder de volumes verwerkt door Charter-operatoren en Recupel-leden[4]. Voor elke gerapporteerde fractie werd een eindbestemming verondersteld. De bestemmingen werden gekozen op basis van de materiaalkenmerken van elke fractie. De bestemming 'niet materiaal' omvat alle verwerkingsopties die als feedstock recycling[20] kunnen worden beschouwd, of waarbij de fractie energetisch benut of gestort wordt. In dit rapport wordt dus enkel die materiaalrecyclage beschouwd waarbij het materiaal terug bruikbaar wordt in eenzelfde of alleszins gelijkaardige toepassing. Toepassingen zoals bijvoorbeeld het gebruik van kunststofafval als reductans in hoogovens worden voor hier dus niet als recyclage beschouwd.

We berekenen op basis van Huisman et al. (2007)[7] uit Tabel 5 de materiaalsamenstelling van het voor verwerking aangeboden en aan Recupel gerapporteerde GW (14.275 ton). Het resultaat hiervan is samengevat in Tabel 12.

Tabel 12: Materiaalsamenstelling van gerapporteerde hoeveelheiden GW aangeboden voor verwerking

Materiaal	gewichts %	Aangeboden voor verwerking

[20] '*Feedstock recycling implies a change of the chemical structure of the material, whereas the resulting chemicals are used for another purpose than producing the original material*' (From: Goodship, V. and Stevels, A. (2012). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook. Woodhead Publishing series in electronic and optical materials (Number 30). Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.)

		(kg)4
Ag	0,000015	2,1
Al (general)	1,68	239.488
Au	0,0000035	0,50
Ceramics	0,069	9.895
Cr	0,0000092	1,3
Cu	3,20	456.870
Fe	0,0091	1.295
Glass (white)	0,74	106.059
Ni	0,000046	6,6
Oil	0,0031	442
Other/inerts	21,98	3.137.033
Pb	0,0014	197
PCB	0,0013	187
Pd	0,0000018	0,26
Plastics general	15,70	2.240.663
PUR	0,31	44.476
PVC	0,35	50.266
Sb	0,000083	12
Sn	0,047	6.711
Stainless steel	1,67	238.699
Steel low alloyed	54,22	7.740.208
Zn	0,014	2.019
Total	**100,00**	**14.274.531**

Het dominante type plastics in grote huishoudelijke apparaten is polypropyleen (PP)[21]. PP kan tot 80% van de plastics in GW uitmaken, gevolgd door ABS & PS (14%)[22] [23].

Tabel 13: Gewichten van materiaalfracties volgens Euralcode, met respectievelijke eindbestemming, van rechtstreeks door Recupel ingezameld groot witgoed, zonder hergebruik en volumes van charter-operatoren en leden

Fractie GW	kg	% van totaal	Cumulatief %	Bestemming
19 12 02 / 01-2_iron fraction 'pure'	7.523.060	52,7	52,7	Traditionele staalfabriek
19 10 01 / 01_shredder iron fraction from large shredders	1.050.520	7,4	60,1	Traditionele staalfabriek
19 12 12 / 01_residues from separation - no hazardous substances and plastics below ROHS/REACH values	937.497	6,6	66,6	Niet materiaal

[21] Wäger, P., Schluep, M. and Müller, E. (2010). RoHS Substances in Mixed Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. St. Gallen, Switserland.

[22] ADEME (2005). Caractérisation des plastiques contenus dans les DEEE et état des lieux de la valorisation de ces plastiques.

[23] Only washing machines were considered, in: Jofre, S., Morioka, T. (2005). Waste management of electric and electronic equipment: comparative analysis of end-of-life strategies. Journal of Material Cycles and Waste Management 7:24–32.

19 12 04 / 02-2_hard plastics 'pieces' 'pure' - below ROHS/REACH values	814.198	5,7	72,3	Plastic recycling
19 12 09 / 02-2_concrete 'fines' 'pure'	578.107	4,0	76,4	Constructiemateriaal
19 12 02 / 02-2_stainless steel 'pure'	429.254	3,0	79,4	Roestvrijstaalfabriek
19 12 09 / 03-2_inorganic 'fines' 'pure'	395.340	2,8	82,2	Constructiemateriaal
19 12 03 / 06-2_non-ferrous metals grey 'pure'	273.022	1,9	84,1	Andere smelters
19 12 10 / 01_mixture of combustible wastes - conditioned for incineration - no hazardous substances and plastics below ROHS/REACH values	261.813	1,8	85,9	Niet materiaal
19 12 03 / 03-2_aluminium fraction 'pure'	260.452	1,8	87,7	Aluminium smelter
19 12 12 / 01-1_plastics-/other organic or mixed 'fines' 'not pure' - plastics below ROHS/REACH values	225.207	1,6	89,3	Niet materiaal
19 12 03 / 05-2_copper and copper alloys 'pure'	195.043	1,4	90,7	Geïntegreerde kopersmelter
19 10 04_shredder light fractions - no hazardous substances	167.832	1,2	91,9	Niet materiaal
19 12 03 / 02-2_mix of non-ferrous metals 'pure'	151.937	1,1	92,9	Kopersmelter
19 12 04 / 04-1_plastics and other organic 'fibres' 'not pure' - plastics below ROHS/REACH values	135.493	0,9	93,9	Niet materiaal
19 12 03 / 02-1_mix of non-ferrous metals 'not pure'	130.619	0,9	94,8	Kopersmelter
19 12 04 / 01-2_plastics and rubber 'pieces' 'pure' - below ROHS/REACH values	107.977	0,8	95,5	Plastic recycling
19 12 09 / 02-1_concrete 'pieces' 'pure'	101.350	0,7	96,2	Bouwmateriaal
19 12 04 / 01-1_plastics and rubber 'pieces' 'not pure' - below ROHS/REACH values	89.257	0,6	96,9	Aluminium smelter
16 02 16 / 11-1_motors - large	81.536	0,6	97,4	Kopersmelter
19 12 04 / 07-1_cable plastics	70.006	0,5	97,9	Plastic recycling
19 12 11* / 08-2_circuit board fraction	53.245	0,4	98,3	Geïntegreerde kopersmelter
19 12 12 / 02_shredder/separation waste - no hazardous substances and plastics below ROHS/REACH values	53.113	0,4	98,7	Niet materiaal
16 02 16 / 36_concrete 'parts' from dismantling	25.580	0,2	98,9	Bouwmateriaal
16 02 16 / 11-2_motors and transformers - small	16.336	0,1	99,0	Kopersmelter
Other	146.735	1,0	100	Diverse
Totaal	**14.274.529**	**100**		

Per eindbestemming maken we vervolgens een inschatting van de aard en de hoeveelheid eindproducten, rekening houdend met de gerapporteerde puurheid van de fracties en gemiddelde efficiënties van de eindverwerking in kwestie. Overeenkomstig de Reptool handleiding[24] worden fracties als puur beschouwd wanneer ze minder dan 2% onzuiverheden bevatten. Voor niet zuivere fracties namen we een zuiverheid van 85% aan. Waar het gehalte aan het materiaal dat beoogd wordt door de verwerking veel lager is dan 85%, werd gebruik gemaakt van literatuurgegevens en van de voorbeelden opgenomen in de publiek beschikbare demoversie van de Reptool

[24] Gabriel R. (2011). WF_RepTool user manual, 'reporter level 2011', version 3.4. WEEE-forum.

(http://www.weee-forum.org/demo/reptool/). Voor motoren werd op die manier een kopergehalte van 22% aangenomen, voor stroomkabels werd dit 27%.

4.1.1 Aluminiumsmelter

Tabel 14: Aanbod van aluminium in aluminiumhoudende GW afvalfracties

Fractie GW	Fractie (kg)	Mat.	Gehalte (%)	Aanbod (kg)
aluminium fraction 'pure'	260.452	Al	98	255.243
plastics and rubber 'pieces' 'not pure'	89.257	Al	2	1.785
sieving material - no haz.sub. and plastics	8.755	Al	1	88
'aluminium-rich' fraction from dismantling	2.221	Al	85	1.888
mix of gas discharge lamps	65	Al	10	7
Totaal aluminium aanbod				**259.010**

In totaal zou er via de aluminiumhoudende fracties bijna 260.000 kg aluminium worden aangeboden. Uit Tabel 12 leiden we af dat de hoeveelheid aluminium in het totale verwerkte volume GW 239.488 kg bedraagt, wat betekent dat 108% van het in GW aanwezige aluminium aangeboden wordt aan de aluminiumsmelter. Het is moeilijk te achterhalen welke materiaalgehaltes en/of hoeveelheden er over- of onderschat zouden kunnen zijn. We kunnen alleszins besluiten dat de recyclage van aluminium uit GW maximaal is. Met een efficiëntie (vergelijking netto metaal input en totale metaal productie) van de aluminiumsmelter van 95,4% voor aluminiumschroot uit duurzame consumptiegoederen[25] geeft dit **247.096 ton** gerecycleerd aluminium.

4.1.2 (Roestvrij)staalfabriek

Tabel 15: Aanbod van (roestvrij) staallegeringen in ijzerhoudende GW afvalfracties

Fractie GW	Fractie (kg)	Mat.	Gehalte (%)	Aanbod (kg)
stainless steel 'pure'	429.254	Stainless steel	98	420.669
iron fraction 'pure'	7.523.060	Steel low alloyed	98	7.372.599
shredder iron fraction large shredders	1.050.520	Steel low alloyed	85	892.942
iron fraction 'not pure'	6.234	Steel low alloyed	85	5.299
Totaal ijzerhoudend				**8.691.509**

Indien we veronderstellen dat het aanbod van staallegeringen weergegeven in Tabel 15 volledig wordt gerecycleerd in de (roestvrij) staalindustrie zou op basis van de samenstelling uit Tabel 12 ook hier het bereikte recyclagepercentage 109% bedragen (107% voor laag gelegeerd staal en 176% voor roestvrij staal). Het is hierbij belangrijk op te merken dat Recupel voor 2012 een ferrometaal-gehalte

[25] Boin, U.M.J. and Bertram, M. (2005). Melting Standardized Aluminum Scrap: A Mass Balance Model for Europe.

van 63,4% bepaalde in het voor verwerking aangeboden GW[4], terwijl Huisman et al. (2007)[7] uitgaat van 55,9% voor eenzelfde fractie, wat al een verschil van 7,5% oplevert. Schroot van roestvrij staal bevat belangrijke hoeveelheden nikkel en chroom, zodat hier ook deze elementen worden gerecupereerd. Het roestvrij staal dat vandaag op de markt wordt gebracht bevat ongeveer 25% niet-industrieel schroot (Australian Stainless Steel Development Association (ASSDA), 2013). Omwille van de materiaalwaarde is, net zoals voor aluminium, waarschijnlijk ook de recyclage van (roestvrij) staal uit GW maximaal.

4.1.3 Zinksmelter

Tabel 16: Aanbod van zink in zinkhoudende GW afvalfracties

Fractie GW	Fractie (kg)	Mat.	Gehalte (%)	Aanbod (kg)
zinc 'pure'	3.339	Zink	98	3.272
Totaal zink				**3.272**

Uit Tabel 16 leiden we af dat het bekomen recyclagepercentage van zink, zonder rekening te houden met de inefficiëntie van de smelter, 162% bedraagt. Mogelijk wordt verzinkt materiaal, waarbij zink als galvanisatielaag op staal wordt toegepast, ook tot de fractie zinc 'pure' gerekend, waardoor het aandeel zink erg overschat zou zijn. Verder zijn dezelfde opmerkingen als voor aluminium hier geldig.

4.1.4 Bouw- en constructiemateriaal

Tabel 17: Aanbod van inerte materialen in inerte GW afvalfracties

Fractie GW	Fractie (kg)	Mat.	Gehalte (%)	Aanbod (kg)
concrete 'pieces' 'pure'	101.350	Bouw	100	101.350
concrete 'parts' from dismantling	25.580	Bouw	100	25.580
mineral fraction 'not pure'	14.737	Bouw	98	14.442
glass 'parts' from dismantling	12.881	Bouw	100	12.881
concrete 'fines' 'pure'	578.107	Bouw	100	578.107
inorganic 'fines' 'pure'	395.340	Bouw	100	395.340
				1.127.700

Wasmachines bevatten vaak betonnen gewichten die zorgen voor de stabiliteit. Deze worden soms gedemonteerd voor het shredden[26]. Deze gewichten zorgen voor een hoog percentage inerte materialen in de GW categorie. De niet zuivere minerale fractie kan nog een klein percentage recupereerbare metalen bevatten, waarvan we veronderstellen dat ze hier verloren gaat. De minerale fracties kunnen vaak enkel ingezet worden op stortplaatsen en/of wegenbouw. Op basis

[26] http://www.recyclingplatform.nl/recycling-processen/wasmachines

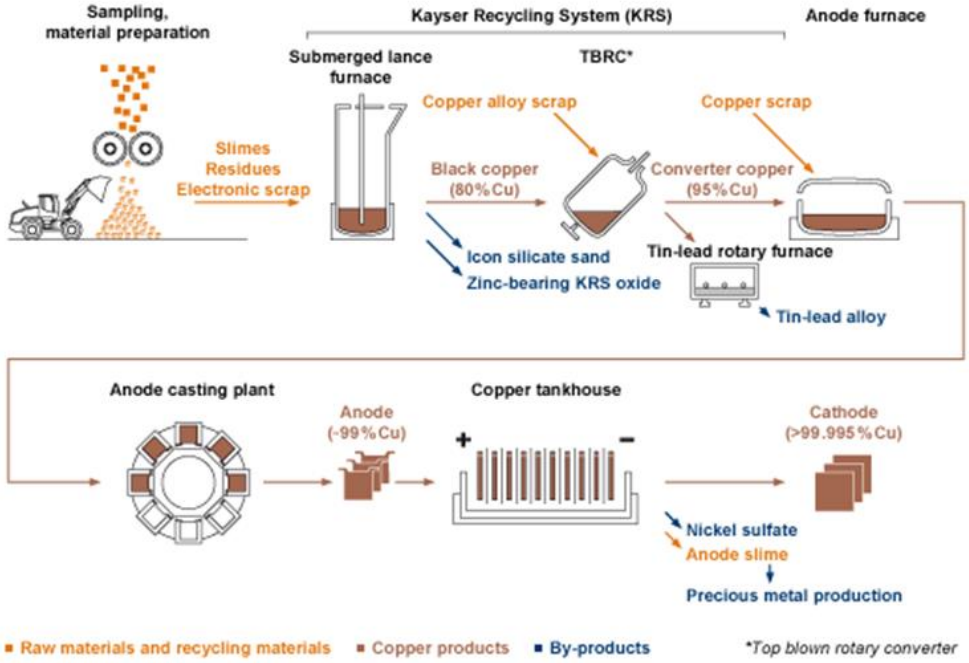
van Tabel 12 betekent een aanbod van 1.127.700 ton (Tabel 17) dat 36% van de inerte fractie zou worden gerecycleerd.

4.1.5 Kopersmelter

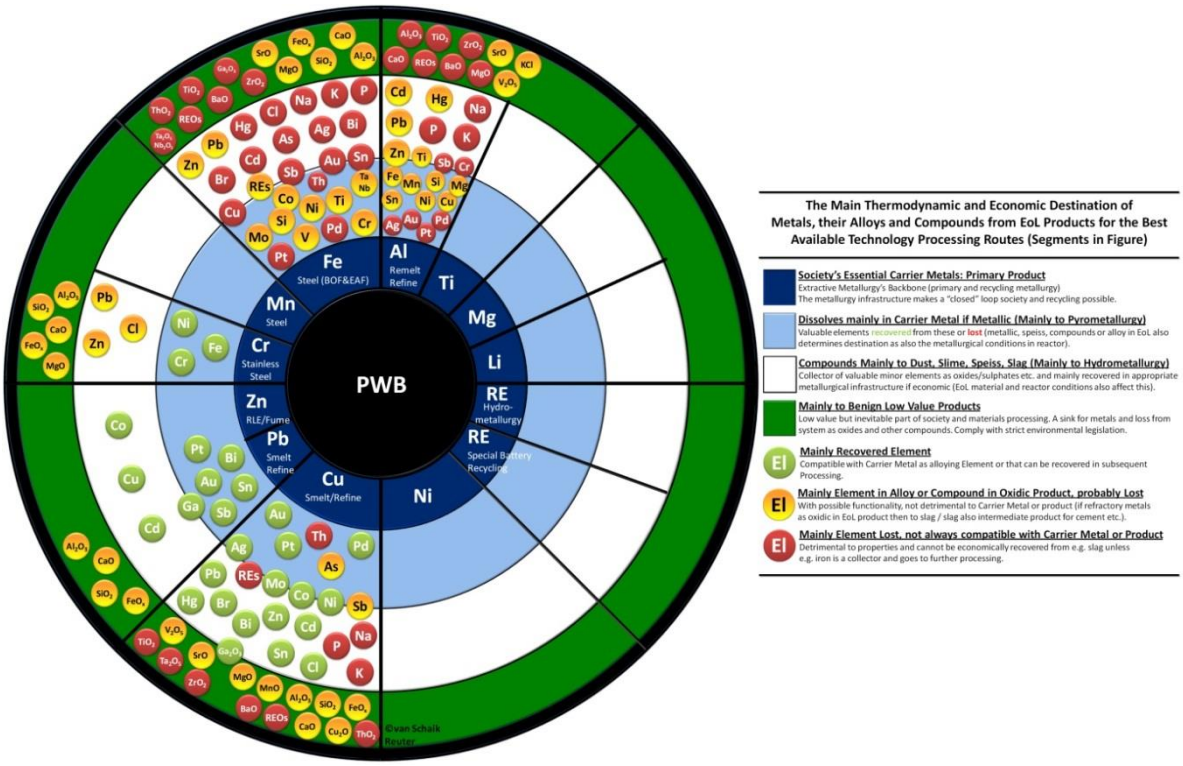
Tabel 18: Aanbod van koper in koperhoudende GW afvalfracties

Fractie GW	Fractie (kg)	Mat.	Gehalte (%)	Aanbod (kg)
mix of non-ferrous metals 'pure'	151.937	Cu	98	148.898
mix of non-ferrous metals 'not pure'	130.619	Cu	92	120.169
motors - large	81.536	Cu	22	17.938
motors and transformers - small	16.336	Cu	22	3.594
copper-metals 'pure' from dismantling	12.099	Cu	98	11.857
motors/transformers after shredding 'pure'	11.503	Cu	22	2.531
electric motors/dry transformers (mix)	8.460	Cu	22	1.861
power supply cables	4.160	Cu	27	1.123
shredder non-ferrous fraction	3.794	Cu	85	3.225
				311.197

We veronderstellen dat er uit bovenstaande fracties die naar een traditionele kopersmelter gaan enkel koper wordt gerecupereerd, hoewel er in principe ook andere metalen kunnen gewonnen worden (Sn, Ni, Zn, Pb,…), zoals weergegeven is in Figuur 9. De functionaliteit van de metalen die in het metaalwiel (zie Figuur 10) rood of oranje gekleurd zijn gaat daarentegen verloren bij verwerking in de kopersmelter/raffinage.



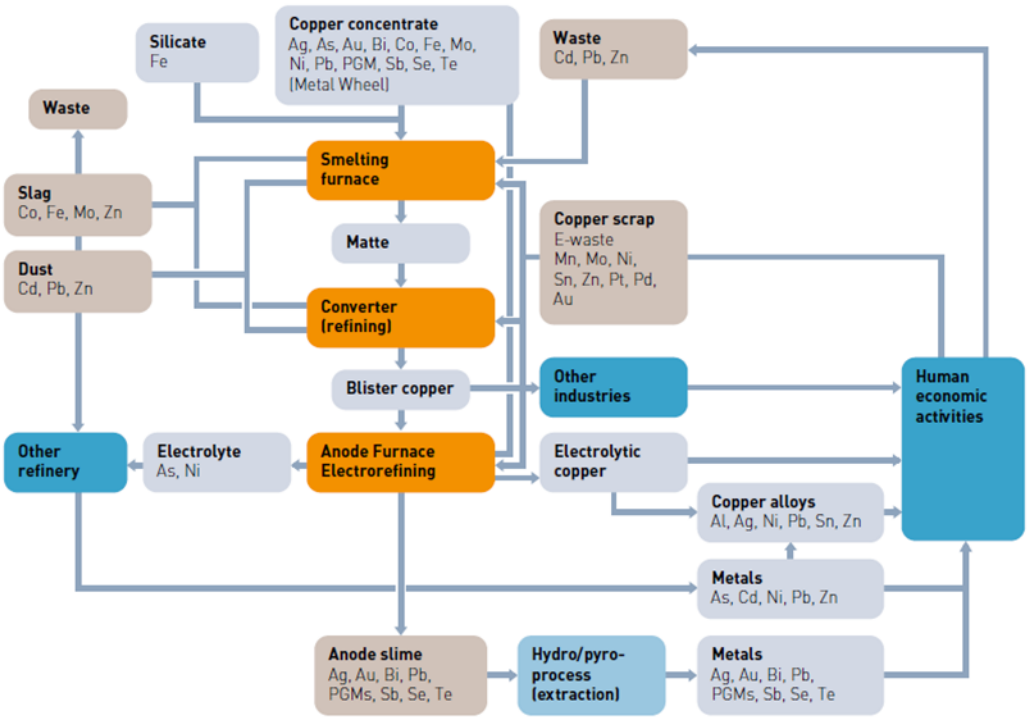
Figuur 9: Secundaire kopersmelter van Aurubis in Lünen (DE)[27]



Figuur 10: Metaalwiel[28]

[27] http://www.aurubis.com/en/our-business/raw-materials/recycling/technology/

Er bestaan verschillende types ovens en methodes voor de koperproductie en raffinage uit koperschroot, met een uiteenlopende efficiëntie. Residuen worden bovendien vaak opnieuw ingezet in hetzelfde proces of verder verwerkt in geassocieerde metaalproductieprocessen (zie Figuur 11) in binnen- en buitenland, vooral in Azië. Het is dus zeer moeilijk om een sluitende massabalans te maken voor het Vlaamse GW dat in de kopersmelter terecht komt. We nemen een efficiëntie aan van 80% voor de ijzerrijke fracties met een kopergehalte <30%[29], en rekenen voor de overige fracties met een recuperatiegraad van 97%[30]. Dit brengt de hoeveelheid gerecupereerd koper uit GW op **297.263 ton**. Op basis van de samenstellingsgegevens van de groot witgoed productcategorie, is deze hoeveelheid goed voor 65% van het aanbod.



Figuur 11: Inzet van koperschroot in de koperproductie[31]

[28] Reuter, M.A., van Schaik, A. (2012). Opportunities and Limits of WEEE Recycling – Recommendations to Product Design from a Recyclers Perspective. In: Proceedings of Electronics Goes Green 2012+, 9-12 September 2012, Berlin, Germany.

[29] Yamaguchi, K., Ohara, T., Ueda, S. and Takeda, Y. (2006). Copper Enrichment of Iron-Base Alloy Scraps by Phase Separation in Liquid Fe-Cu-P and Fe-Cu-P-C Systems, Materials Transactions, Vol. 47, No. 7 (2006) pp. 1864-1868.

[30] Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) (2001). Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries.

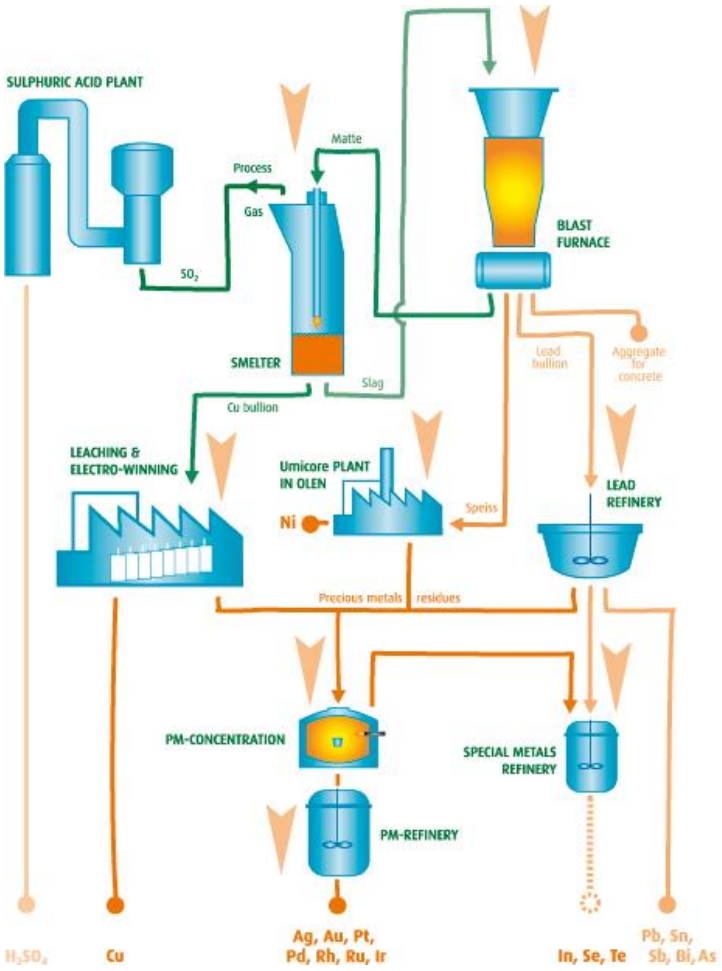
[31] UNEP (2013) Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C.

4.1.6 Geïntegreerde smelters en andere schrootverwerkers

Tabel 19: Aanbod van fracties met als eindbestemming de geïntegreerde smelter

Fractie GW	Fractie (kg)
copper and copper alloys 'pure'	195.043
circuit board fraction	53.245
printed circuit boards from dismantling - medium quality	311
non-ferrous metals grey 'pure'	273.022

In geïntegreerde smelters (zie Figuur 12) worden tal van elementen teruggewonnen uit die fracties die een hogere concentratie van verscheiden en economisch waardevolle metalen bevatten (zie Tabel 19), met name printplaten.



Figuur 12: The Umicore flowsheet based on copper and lead hydro- and pyro-metallurgy[31]

Hoewel er publieke gegevens beschikbaar zijn over de samenstelling van printplaten (zie Tabel 20) is er geen informatie voorhanden over de concentratie van recupereerbare metalen in specifieke outputfracties van de voorbehandeling van AEEA, behalve dat slechts 4% van de input voor de integrale kopersmelter uit afval zou bestaan[32]. Wel zijn er studies die de verdeling over verschillende outputfracties analyseerden van de speciale en edelmetalen aanwezig in de input[33].

Hoewel verwerkers die een kleursortering toepassen zeggen zuiverheden van printplaatfracties tot 90% te kunnen behalen, gaan we er hier van uit dat in het algemeen slechts 80% van de printplaatfracties uit printplaatfragmenten bestaat en voor 20% uit andere materialen zoals plastics en metalen. Experimenten (2009)[34] waarbij laserscheiding technologieën werden toegepast op fracties met 15 tot 30% printplaten rapporteerden printplaatconcentraties van 50 tot 60% in de outputfractie.

We veronderstellen verder dat uit de fracties die voornamelijk bestaan uit printplaten 95% van de aanwezige metalen uit de PGM-groep, waaronder palladium, gerecupereerd worden in een geïntegreerde smelter[35]. We nemen eenzelfde percentage aan voor goud, zilver en koper, antimoon, lood, tin en nikkel. Hoewel verschillende bronnen[36] [37] gewag maken van theoretisch hogere percentages voor bepaalde elementen, betekent dit voor andere waarschijnlijk een overschatting.

Het resultaat van deze veronderstellingen is weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20: Materialen uit de recyclage van GW printplaten en gerecycleerde hoeveelheden

Materiaal	Gehalte7 (%)	Aanbod (80% printplaten) (kg)	Gerecycleerd (kg)
Fe	9,9	4.241,6	-
Cu	13	5.569,8	5.291,3
Ag	0,016	6,9	6,5
Au	0,0038	1,6	1,5
Pd	0,002	0,9	0,8
Al	7,7	3.299,0	-
Cr	0,01	4,3	4,1
Ni	0,05	21,4	20,4
Pb	1,5	642,7	610,5
Sb	0,09	38,6	36,6
Sn	2,4	1.028,3	976,9
Zn	3,2	1.371,0	1.302,5
Plastics	44	18.851,7	-

[32] Hagelüken, C. (2006); Recycling of Electronic Scrap at Umicore's Integrated Metals Smelter and Refinery. World of Metallurgy – Erzmetall, vol. 59(3), pp. 152 – 161.

[33] Chancerel, P., Meskers, C.E.M., Hagelüken, C. and Rotter V.S. (2009). Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. Journal of Industrial Ecology. 13(5): 791-810.

[34] WRAP (2009). WEEE Separation techniques, Visys Multi Frequency Laser trial report. Project MDD018/23

[35] Hagelüken, Christian (2012). Recycling the Platinum Group Metals: A European Perspective. Platinum Metals Review, vol. 56 (1), pgs. 29–35, Johnson Matthey.

[36] Bigum, M., Brogaard, L., Chistensen, T. (2012). Metal recovery from high grade WEEE: A life cycle assessment. Journal of Hazardous Materials 207-208, 8-14.

[37] Chancerel, P. (2010). Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment – An assessment of the recovery of gold and palladium. Doctoral thesis, Technische Universitaet Berlin, Germany.

Ceramics	14	5.998,3	-
Other average	4,4	1.885,2	-
Total	**100**	**42.961,3**	**8.251,1**

We merken op dat uit de gemaakte veronderstellingen een bijkomende hoeveelheid **zink** resulteert van meer dan **1,3 ton**.

Verder veronderstellen we dat de fractie *copper and copper alloys 'pure'* zowel rood als geel koper bevat, waaruit via metallurgische processen verschillende legeringen kunnen worden bekomen. We gaan (arbitrair) uit van een verdeling koper/zink van 90/10. Een gerapporteerde zuiverheid van de fractie van 98% en een veronderstelde opbrengst van 95% komt dan neer op **163 ton** gerecycleerd **koper** en een bijkomende **18 ton zink**.

De fractie *non-ferrous metals grey 'pure'* heeft in principe een hoog gehalte aan tin, zink en lood. Deze fractie heeft een gerapporteerd totaalgewicht van **273 ton**, waarbij de som van de op basis van de samenstellingsgegevens verwachte hoeveelheden aan tin, zink en lood in GW goed is voor nog geen 9 ton en er anderzijds reeds meer dan 3 ton 'zuiver' zink wordt gerapporteerd. Een mogelijke verklaring is dat verwerkers de zogenaamde ISRI spec zorba-fractie van aluminium, koper, lood, zink, magnesium, roestvrij staal, nikkel en tin (zie Figuur 13) rapporteren als *non-ferrous metals grey 'pure'*. We nemen aan dat het inderdaad om de zorba-fractie gaat en veronderstellen daarbij een gelijkaardige verdeling over de verschillende non-ferro metalen dan in het GW, wat neerkomt op 25% aluminium, 49% koper, 25% roestvrij staal en 1% tin (zie Tabel 21).

Tabel 21: Materialen uit de zuivere koper(legeringen) en non-ferro fracties

Fractie GW	Materiaal	Gehalte (als zorba met 98% zuiverheid) (%)	Gerecycleerd 80% (kg)
non-ferrous metals grey 'pure'	Cu	49	104.884
	Al	25	53.512
	Sn	1	2.140
	Stainless steel	25	53.512
copper and copper alloys 'pure'	Cu	90	163.427
	Zn	10	18.159
Total			**395.634**

Figuur 13: Zorba-fracties (Bron: www.recyclingtoday.com)

4.1.7 Plastics

Tabel 22: Materialen uit plasticfracties

Fractie GW	Fractie (kg)	Mat.	Gehalte (%)	Aanbod (kg)
hard plastics 'pieces' 'pure'	814.198	PP	98	781.956
plastics and rubber 'pieces' 'pure'	107.977	PP	98	74.072
cable plastics	70.006	PVC	98	61.745
				917.773

De plastics fracties uit worden gerapporteerd als *'pure'* (Tabel 22). We veronderstellen dat de harde plastics uitsluitend uit het gemakkelijk te scheiden polypropyleen (PP) bestaan, dat ruwweg 80% uitmaakt van de plastics in GW. De fractie *cable plastics* wordt PVC verondersteld. We veronderstellen recyclage-opbrengsten van 98% voor PP en 90% voor PVC. De fractie *plastics and rubber 'pieces' 'pure'* zal vermoedelijk een groot aandeel PP bevatten, we nemen hier arbitrair aan dat het recycleerbare PP-gedeelte 70% bedraagt.

4.1.8 Andere

Bij glasproducenten zou er **306 kg** gerecycleerd glas kunnen ingezet worden.

4.2 Overzicht en besluiten

Op basis van de veronderstellingen over de verwerking van de gerapporteerde fracties die werden bekomen uit de rechtstreeks door Recupel ingezamelde volumes AEEA, werd Tabel 23 opgesteld.

Hierin werden de verschillende fracties die resulteren uit de eindverwerking van de door erkende verwerkers aangeleverde gesorteerde fracties (zie 4.1) terug gerelateerd aan de oorspronkelijke materiaalsamenstelling.

Tabel 23: Materiaalrecyclage uit de verwerking van de aan Recupel gerapporteerde fracties

Materiaal	gewichts%7	Verwerkt4 (kg)	Gerecycleerd (kg)	Recyclage%
Ag	0,000015	2,11	6,51	309,3
Al (general)	1,68	239.488	300.608	125,5
Au	0,0000035	0,50	1,55	309,3
Ceramics	0,069	9.895	0	-
Cr	0,0000092	1,32	0	-
Cu	3,20	456.870	570.865	125,0
Fe	0,0091	1.295	0	-
Glass (white)	0,74	106.059	306	0,3
Ni	0,000046	6,58	20,35	309,3
Oil	0,0031	442	0	-
Other/inerts	21,98	3.137.033	1.127.700	35,9
Pb	0,0014	197	610,5	309,3
PCB	0,0013	187	0	-
Pd	0,0000018	0	0,81	309,3
Plastics general	15,70	2.240.663	856.028	38,2
PUR	0,31	44.476	0	-
PVC	0,35	50.266	61.745	122,8
Sb	0,000083	11,8	36,6	309,3
Sn	0,047	6.711	3.117,4	46,5
Stainless steel	1,67	238.699	474.181	198,7
Steel low alloyed	54,22	7.740.208	8.270.840	106,9
Zn	0,014	2.019	22.733	1.126,2
Total	**100**	**14.274.531**	**11.688.800**	**81,9**

Besluiten per materiaalgroep:

- **Printplaten**: De aanwezige hoeveelheden Ag, Au, Ni, Pb, Sb zijn aan elkaar gelinkt door de aanname in de samenstelling van Huisman et al. (2007)[7], namelijk dat in GW al deze (edel)metalen enkel in printplaten zijn terug te vinden. Uit de berekeningen volgt dan dat om tot de uit de rapportage afgeleide gerecycleerde hoeveelheden te komen, er driemaal zoveel printplaatmetalen nodig zijn dan er aanwezig zijn in het verwerkte GW. In de praktijk kunnen min of meer zuivere printplaatfracties slechts bekomen worden door 1) demontage en hand-picking, eventueel na crushing of 2) verdere sortering van de Eddy Current niet-aluminiumfractie d.m.v. inductie of kleursortering of een combinatie van beiden. Slechts 1,18% van de fracties uit het ter verwerking aangeboden AEEA is afkomstig uit demontage,

met een gerapporteerde opbrengst van 311 kg printplaten. De overige 53.245 kg die gerapporteerd wordt zou dus gegenereerd moeten zijn na een inductiestap[38] in de voorbehandeling. Het totale gewicht aan printplaten aanwezig in GW bedraagt tussen de 0,001en 0,3 % (zie Tabel 6), of tussen de 143 en 42.824 kg. Uit de literatuur[31 39] weten we dat een aanzienlijk deel van de printplaten verloren gaat in het shredderproces en de daaropvolgende sorteerstappen, terwijl anderzijds waarschijnlijk niet alle verwerkers een inductiestap voorzien in de verwerking van GW. Een '*circuit board fraction*' van meer dan 53 ton met een verondersteld printplaatgehalte (met de overeenkomstige printplaatmetalen) van 80% blijkt dus niet aannemelijk.

- **Laaggelegeerd en roestvrij staal**: De geaggregeerde samenstellingsgegevens van Recupel geven een percentage ferro metalen van 63,4% op voor GW. Er werden geen veldstudies gevonden met dergelijke hoge gehaltes aan ijzer in afgedankt GW (zie Tabel 5 en Tabel 6). De meeste analyses komen uit op ongeveer 54%. Aangezien GW samen wordt verwerkt met schroot van andere End-of-Life goederen die een belangrijke hoeveelheid staal bevatten, zoals autowrakken, is het mogelijk dat de hoeveelheid staal afkomstig uit de GW-fractie wordt overschat. Van de fractie *stainless steel 'pure'* wordt mogelijk ook de zuiverheid overschat (98%).
- **Non-ferro metalen (Al, Cu, Sn, Zn)**: Voor al deze fracties lijkt de zuiverheid of het metaalgehalte overschat. Dit is alleszins het geval voor zink.
- **Plastics**: De zuiverheid van de fractie cable plastics lijkt overschat. Het is technisch zeker mogelijk een PP fractie te bekomen van een zuiverheid die toepassing als materiaal toelaat.

In deze oefening werden de hoeveelheden van de door verwerkers aan Recupel gerapporteerde fracties gebruikt, die voornamelijk uit voorbehandelingen resulteren (shredden en sorteren). Er werd een inschatting gemaakt van de materialen aanwezig in die fracties en er werd een eindbestemming verondersteld voor elke fractie en de daarin aanwezige materialen. Het dient hierbij opgemerkt te worden dat bij de rapportage ook al deze inschatting wordt gemaakt voor de volgende verwerker(s)/refiner(s) in de keten, met name over de aard, hoeveelheid en toepassing van de deelstromen die bij deze afnemers weer vrijkomen. Deze gegevens waren niet beschikbaar voor deze studie. Voor de samenstellingsgegevens werd Huisman et al. (2007)[7] gebruikt.

Aan de hand van bovenvermelde gegevens en aannames werd een recyclagepercentage bepaald, als de verhouding van de als materiaal toepasbare outputs uit de eindbestemming op de totale input. Het op deze manier berekende totale recyclagepercentage van groot witgoed bedraagt dan 81,9%. De recyclagepercentages per materiaal liggen tussen de 0 en de 1.126%, zodat het eindresultaat geenszins kan vergeleken worden met het recyclagepercentage van 85,82% dat door Recupel werd berekend, dat geen rekening houd met concentraties van doelmaterialen en waarbij een geheel verschillende definitie van 'gerecycleerd' wordt gehanteerd.

[38] Deze techniek om metalen te scheiden is selectiever en flexibeler dan de Eddy Current technologie en wordt voornamelijk gebruikt als een verdere zuiveringsstap van de kunststoffractie die overblijft na het afscheiden van ferro-en eventueel een non-ferro fractie (vb. aluminium) met een traditionele magnetische en wervelstroomscheiding. De mogelijkheid bestaat om de sortering vanaf het begin toe te spitsen op roestvrij staal en printplaat scheiding. In dit geval kunnen de resterende niet-ferro metalen (brons, Al, Cu) worden verwijderd door een tweede inductie met een grotere gevoeligheid.

[39] Van Schaik A., Reuter, M.A. (2010). Dynamic modelling of E-waste Recycling system performance based on product design. Minerals Engineering, vol. 23, pp. 192 – 210.

Een verklaring van deze resultaten kan gevonden worden in verschillende aspecten van de rapportage via de Reptool op basis van Eural waste codes:

- ***In totaal onderscheiden de verwerkers in hun rapportage aan Recupel 53 verschillende fracties met elk een Eural waste code, als resultaat van de voorbehandeling van groot witgoed. Aangezien de geregistreerde verwerkers van groot witgoed slechts een beperkt aantal processen inzetten, is er in de praktijk vermoedelijk een grote overlap tussen de gebruikte codes, of worden er voor gelijksoortige fracties verschillende codes gebruikt. Dit maakt het moeilijk om aan een code een 'typische' materiaalsamenstelling toe te kennen.***
- ***De bepaling van de fractiegewichten gebeurt op basis van periodieke steekproeven en waarschijnlijk ook apparaattellingen. In Nederland werden door de bevoegde overheid in 2010 verschillende tekortkomingen vastgesteld in dit verband*16*. Het is niet bekend of diezelfde bemerkingen ook in Vlaanderen gelden.***
- ***Voor verwerkers waar verschillende soorten afval (zoals voorshreddermateriaal, AEEA en End-of-Life vehicles (ELV)) en/of AEEA productcategorieën eenzelfde proceslijn (of delen ervan) doorlopen, lijkt de voor rapportering vereiste allocatie op basis van uitgangsmateriaal geen eenvoudige opgave.***
- ***Anderzijds is er geen directe praktische toepassing verbonden aan de Eural waste codes, behalve uiteraard het naleven van de regelgeving aangaande afval. De codes bieden ook geen link met de oorsprong van de fractie of met de geschiktheid voor een bepaalde verdere verwerking, noch met een eventuele markt(prijs), in tegenstelling tot de zogenaamde Scrap Specifications[40] van het Institute of Scrap Recycling Industries (ISRI). Het juist categoriseren van een fractie onder een of andere Eural code heeft dan ook weinig praktische gevolgen voor de verwerker.***

[40] http://www.isri.org/docs/default-source/commodities/specsupdatesept2013.pdf?sfvrsn=2

5. Materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams AEEA op basis van proceskenmerken

De berekeningen gemaakt in sectie 4 tonen aan dat de inschattingen van de verwerkers omtrent de verdeling van de ontmantelde, geshredde en gesorteerde AEEA-fracties over verschillende eindbestemmingen niet bruikbaar zijn om de resulterende stromen van opnieuw toepasbare materialen te berekenen. Daarom werd besloten om het huidige verwerkingsproces van Vlaams AEEA te modelleren, waarbij de technische beperkingen in rekening worden gebracht, door in de praktijk bereikte rendementen en zuiverheden van de outputs van opeenvolgende processtappen in te schatten. De inschattingen betreffende de voorbehandeling werden gevalideerd door de belangrijkste verwerker van AEEA in Vlaanderen, Galloo. De cijfers gebruikt voor de pyrometallurgische behandeling werden betrokken uit wetenschappelijke publicaties en vrij toegankelijke documenten van Umicore en/of Umicore-medewerkers.

Op dergelijke manier is het mogelijk om de hoeveelheden inzetbare materialen te berekenen afkomstig uit de recyclage van Vlaams AEEA met bestaande en op industriële schaal op het Vlaams AEEA toegepaste technieken. De uitgewerkte casestudies van groot witgoed en overig IT zijn bedoeld om:

- ***Het verband te leggen tussen de materiaalsamenstelling van verschillende categorieën EEA en het potentieel om door recyclage van de overeenkomstige AEEA materialen en substanties terug te winnen op een economisch betekenisvolle manier, en waarbij de toekomstige inzet van kritische en milieubelastende grondstoffen kan worden vermeden;***
- ***Het maken van aanbevelingen met betrekking tot inzamel- en of recyclagedoelstellingen die rekening houden met het potentieel van te onderscheiden AEEA-stromen.***

De resultaten van de berekeningen zijn enkel accuraat voor het gedeelte van het groot witgoed en het overig IT dat effectief bij Galloo en/of Umicore terechtkomt. Naar eigen zeggen verwerkt Galloo 'de helft van de Recupelgoederen voor het Vlaamse landsgedeelte'[41], wat de cijferresultaten wel enige representativiteit geeft. Om een exacte en volledige berekening te maken van de materiaalopbrengsten van Vlaams groot witgoed en overig-IT moeten de verwerkingsprocessen van elk van de erkende en niet-erkende verwerkers in Vlaanderen (of daarbuiten) in kaart gebracht worden, om van daaruit de in de praktijk bereikte rendementen en zuiverheden van de outputs in te schatten. Dit is zeker een haalbare opdracht, die echter buiten het bereik van deze studie valt.

De erkende verwerkers van groot witgoed, overig-IT en andere AEEA zijn terug te vinden in Figuur 14. In de Belgische massabalans werden ook niet-erkende verwerkers geïdentificeerd.

[41] http://www.galloo.com

NAAM	STRAAT	POSTCODE	GEMEENTE	GEWEST	FRACTIES
APPAREC	Baeckelmansstraat 125	2830	WILLEBROEK	VL	TVM
B.E.E.R.	Boomsesteenweg 170	2830	WILLEBROEK	VL	GW
BRUSSELS RECYCLING METAL	Chaussée de Buda steenweg 1-2	1130	BRUXELLES-BRUSSEL	BR	GW/OVE
CASIER RECYCLING (tot 30/06/2012)	Sint Elloistraat 2	8540	DEERLIJK	VL	GW
COMETSAMBRE	Rivage de Boubier 25	6200	CHATELET	WA	GW/OVE/KV TVM (tot 30/06/2013)
ECORE	Zoning Industriel d'Aubange 1	6790	AUBANGE	WA	GW/OVE
GALLOOMETAL	Wervikstraat 320	8930	MENEN	VL	OVE/TVM GW (tot 30/06/2012)
INDAVER RELIGHT	Molenweg - Haven 1944	9130	KALLO	VL	LMP
IRE	Avenue de l'Espérance 1	6220	FLEURUS	WA	RM
RECYDEL	Rue Wérihet 47	4020	WANDRE	WA	KV/OVE
SIMS RECYCLING SOLUTIONS	Europark Noord 32	9100	SINT-NIKLAAS	VL	OVE
VAN DALEN BELGIUM (tot 30/06/2012)	Eindhoutseheide 2	2440	GEEL	VL	GW
VANHEES METALEN (tot 30/06/2012)	Katoenstraat 6	3920	LOMMEL	VL	GW

Figuur 14: Lijst van erkende verwerkers van AEEA in België[4]

Voor de verwerking van groot witgoed werd de procesvoering bij Galloo als model gebruikt. Hier worden geen grote verschillen qua materiaalopbrengst verwacht tussen verschillende binnen- en buitenlandse verwerkers (zie ook 3.2.3.1).

Voor OVE-IT is het echter waarschijnlijk dat de verwerkingsstappen, en dus ook de uiteindelijke materiaalopbrengsten, van de niet via Recupel ingezamelde apparaten sterk verschillen van het hier aangenomen model. Om toch tot geldige conclusies te komen aangaande het recyclagepotentieel, en om aanbevelingen te kunnen maken over inzamel- en recyclagedoelstellingen, wordt een aparte sectie (xxx) gewijd aan alternatieve verwerkingsmethoden van OVE-IT.

5.1 Recyclageprocessen van Vlaams AEEA

5.1.1 Recyclageproces van Vlaams groot witgoed

Groot witgoed wordt ontdaan van de stroomkabels, die naar de kopersmelter worden afgevoerd. De kabelmantel bestaat meestal voornamelijk uit PVC, stekkers kunnen ook andere plastics bevatten. De plastics worden als brandstof aangewend in het smeltproces. De toestellen en onderdelen worden vervolgens mechanisch verkleind, wat leidt tot een zware fractie en een lichte fractie. De zware fractie ondergaat een magnetische scheiding, waaruit een ijzerrijke fractie voortkomt. Deze fractie bevat ook de zogenaamde ‘meatballs’, waarin staal en koper intiem vermengd zijn. ‘Meatballs’ worden gevormd uit elektrische motoren en spoelen, die meestal bestaan uit een stalen omhulsel met koperen wikkelingen binnenin. Zij vormen een dubbele verliespost: enerzijds is de koperinhoud een verontreiniging voor de staalfractie, die de waarde van deze fractie vermindert, terwijl er anderzijds koper verloren gaat (zie ook het metaalwiel in Figuur 10), dat een marktprijs heeft die minstens tien keer hoger is dan staalschroot. De scheiding van koper uit de ‘meatballs’ vormt een belangrijk thema van onderzoek en ontwikkeling. Voorbeelden zijn de ‘Energy Dispersive X-Ray

Fluorescence (EDXRF) spectrometric equipment' van Titech[42], en het onderzoeksproject MORE (MOtor REcycling)[43]. In Vlaanderen worden de 'meatballs' handmatig uitgesorteerd. Het resultaat van deze processtappen is een fractie **staalschroot** voor de staalindustrie en een kleine fractie **koperrijk materiaal**.

De non-ferro restfractie wordt samen met de uit de shredder afgezogen fractie gezeefd. Het fijne stof bestaat uit metaaldeeltjes en uit inert materiaal dat wordt afgevoerd als bouwmateriaal. De grovere fractie ondergaat een luchtscheiding die resulteert in lichte RDF (kunststoffen, isolatiemateriaal) dat wordt ingezet in cementovens.

Er blijft nu een non-ferro fractie over, waarop een dichtheidsscheiding wordt toegepast. De afgescheiden fracties zijn: zwaar RDF (rubber, hout, PMMA) voor gebruik in cementovens of als brandstof voor stadsverwarming in het buitenland; plastics; **lichte aluminium** voor de aluminiumindustrie; zware non-ferro; en een zogenaamde heavy metal mix.

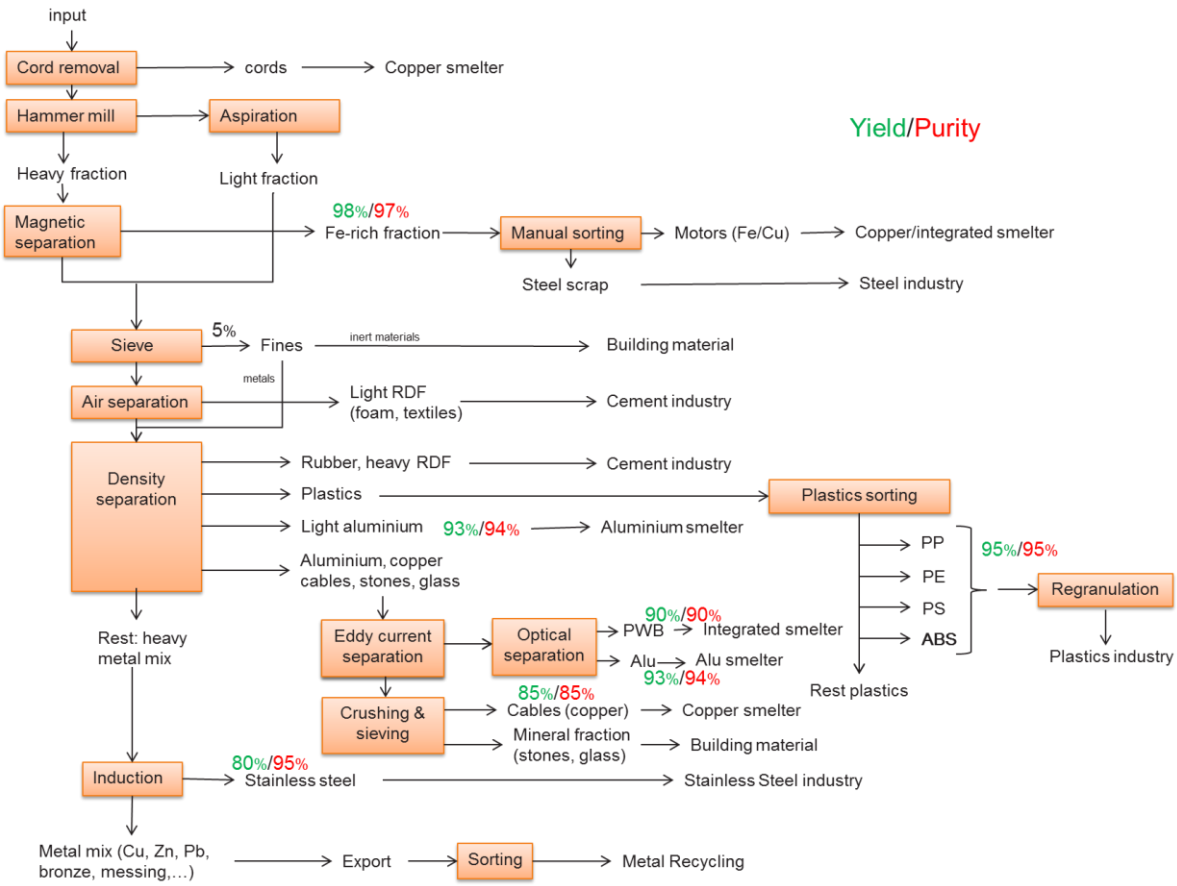
De plastics fractie wordt uitgesorteerd in verschillende soorten plastics (**PP, PE, PS en ABS**), die worden verwerkt tot bruikbare granulaten, onder meer voor de auto-industrie.

De zware non-ferro fractie bevat cast aluminium, stukken koperkabel, beton en glas. Deze fractie wordt verder gescheiden door een Eddy Current, en het is mogelijk om door optische scheiding nog **printplaatfragmenten** af te scheiden uit de resulterende fractie. De Eddy Current restfractie kan eenvoudig gescheiden worden in een **minerale** en een **koperkabelfractie**.

De heavy metal mix bevat een breed gamma van non-ferrometaallegeringen met een interessante marktwaarde. In Vlaanderen wordt hieruit door inductie het **roestvrij staal** afgescheiden, terwijl de restfractie geëxporteerd wordt voor de recuperatie van de **verschillende metalen**.

Een overzicht wordt gegeven in Figuur 15, waarbij voor elke stap gemiddelde rendementen (yield) en zuiverheden (purity) worden aangegeven.

[42] http://waste-recyclingme.ae/article-details.php?ArticleID=416
[43] http://www.siemens.com/innovation/en/news/2011/e_inno_1137_2.htm



Figuur 15: Verwerkingsproces en materiaalopbrengsten Vlaams GW

5.1.2 Recyclageproces van Vlaams overig IT

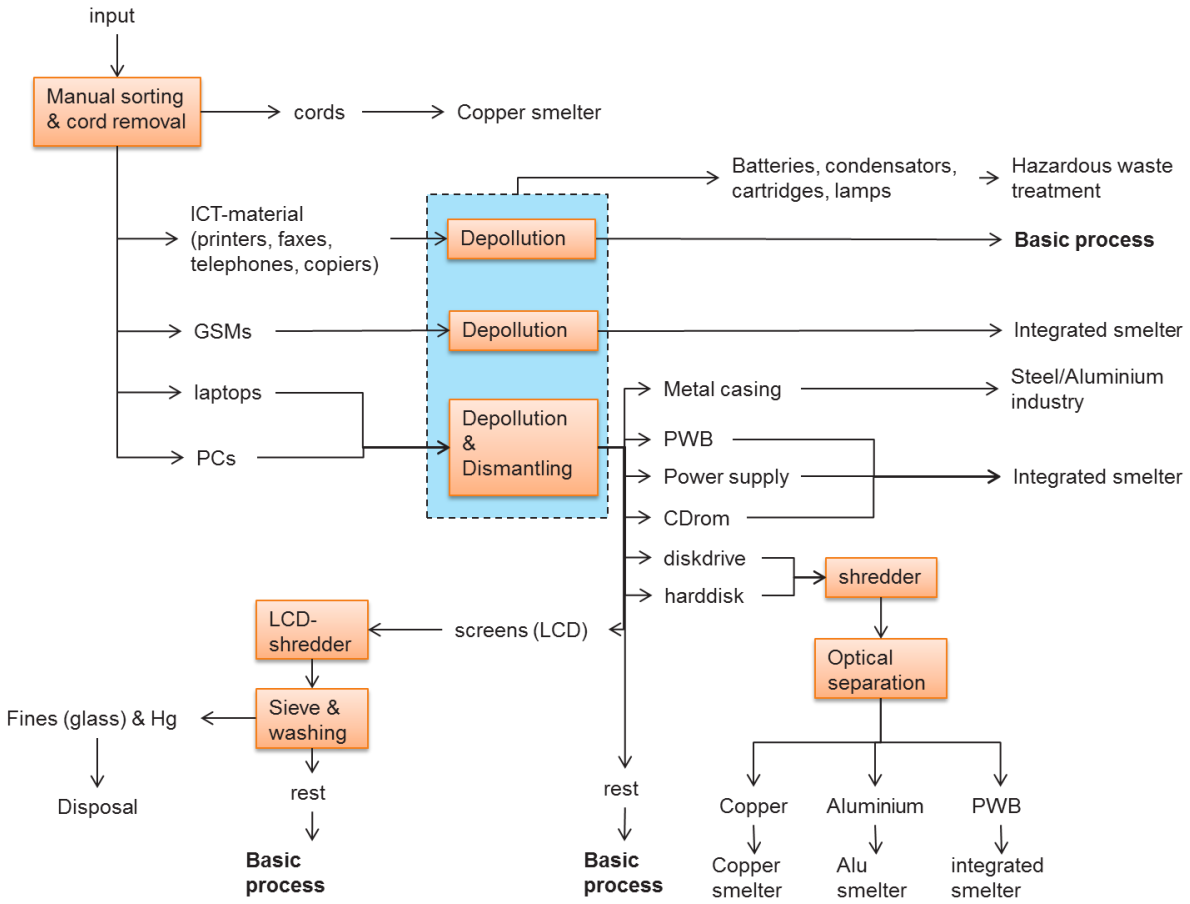
Bij overig IT worden de stroomkabels eveneens afgeknipt en afgevoerd naar de kopersmelter. Vervolgens worden de toestellen gesorteerd volgens type. Hierbij worden 4 fracties overig IT onderscheiden: PC's, laptops, ICT/bureau-materiaal (printers, faxtoestellen, telefoons, kopieerapparaten) en mobiele telefoons. Daarnaast worden eveneens houten omkastingen (van klankkasten) en olieradiatoren apart gehouden. De toestellen worden gedepollueerd en de schadelijke stoffen en componenten (o.a. batterijen, inktpatronen en -linten, condensatoren, TL-lampen, …) worden afgevoerd naar erkende verwerkers.

Na verwijdering van de batterij worden **mobiele telefoons** rechtstreeks aangeleverd bij een geïntegreerde smelter voor secundaire raffinage, waarbij koper, edelmetalen en speciale metalen worden teruggewonnen. Het aanwezige aluminium en staal wordt in deze route niet teruggewonnen, maar komt terecht in de slak. De kunststoffen worden aangewend als brandstof in het proces.

ICT-materiaal wordt na depollutie in het basisverwerkingsproces (proces voor GW in Figuur 15) gestuurd.

PC's en laptops worden volledig manueel gedemonteerd. De voeding, printplaten en de CD-rom worden na demontage verder verwerkt in een geïntegreerde smelter. De metalen kast gaat rechtstreeks als staalschroot naar de staalindustrie. De harde schijf en floppystations worden mechanisch verkleind in een kleine shredder en via optische scheiding kunnen een koperrijke fractie, een aluminiumrijke fractie en een fractie printplaatfragmenten worden bekomen. LCD-schermen uit laptops worden verwerkt via een LCD-lijn, waarbij het scherm mechanisch wordt gebroken in een gesloten atmosfeer. Via een thermisch wasproces wordt de fijne, kwikhoudende fractie verwijderd, waarna het overige materiaal het klassieke basisverwerkingsproces volgt.

Een overzicht wordt gegeven in Figuur 16, waarbij voor elke stap gemiddelde rendementen (yield) en zuiverheden (purity) worden aangegeven.



Figuur 16: Verwerkingsproces en materiaalopbrengsten Vlaams OVE-IT

5.2 Materiaalopbrengsten uit recyclage van Vlaams AEEA

5.2.1 Resulterende fracties en materiaalopbrengsten uit het recyclageproces van GW

Vlaams groot witgoed kent verschillende recyclageroutes. Een eerste route wordt geregistreerd via Recupel, waarbij de vrijgekomen apparaten in regel terecht komen bij erkende verwerkers (zie 3.2.2). Het gaat over **15.429 ton** voor 2012. Een tweede route betreft de apparaten die via lokale inzamelaars en regionale schrootbedrijven een parallelle stroom vormen bestaande uit volledige apparaten en voorshreddermateriaal. Deze volumes, in totaal **2.936 ton**, werden onder 3.2.3.1 benoemd als 'Shredders & EERA'. Deze niet-geregistreerde stroom komt uiteindelijk toch bij erkende verwerkers terecht. We veronderstellen daarom dat het verwerkingsproces (zie 5.1.1) en de materiaalopbrengst daarvan vergelijkbaar zijn met die van de geregistreerde volumes. We maken dezelfde veronderstelling voor het groot witgoed dat als monostroom of in voorshreddermateriaal uitgevoerd wordt naar de buurlanden om daar verwerkt te worden (3.2.3.2. en 3.2.3.3), in totaal **5.038 ton**. Dit geeft een totaal van **23.403 ton** GW dat gerecycleerd wordt volgens het schema uit 5.1.1.

Op deze manier wordt het groot witgoed verwerkt tot verschillende output fracties. De output zijn deze fracties die een bepaalde toepassing krijgen als grondstof, waarbij de oorspronkelijke functionaliteit die de materialen hadden in de apparaten (grotendeels) gerecupereerd kan worden ('functional recycling'[44]). In Tabel 24 wordt een overzicht gegeven van de berekende hoeveelheden (in gram per ton inputmateriaal) van dergelijke fracties uit de recyclage van Vlaams groot witgoed. Voor deze berekening werd een rekenmodel opgemaakt dat het effect van het sorteerproces op de inputstroom stapsgewijs simuleert. Hierbij werd gebruik gemaakt van de in Figuur 15 vermelde opbrengsten en zuiverheden, waarbij het aandeel onzuiverheden steeds evenredig werd ingevuld door de in de processtroom nog aanwezige materialen. Ongeveer 6% van de materiaalinput komt niet in recycleerbare fracties terecht, met name afgezeefd stof en lichte en zware RDF; de overige 94% van de input wordt verdeeld over nuttige outputfracties.

Tabel 24: Fracties uit recyclage Vlaams GW

Fractie GW	Fractie (g fractie/ton input)	Gerecycleerd materiaal	Gehalte (g in fractie/ton input)	Bestemming
Staalschroot	548.066	Staal	531.394	staalindustrie
Aluminiumschroot	15.373	Aluminium	14.451	Aluminiumindustrie
Roestvrij staalschroot	13.857	Roestvrij staal	13.164	Roestvrij staalindustrie
metalenmix export	10.366	Cu	3.494	Export (recyclage)
		Sn	363	
		Roestvrij staal	2.323	

[44] UNEP (2011). Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Flows to the International Resource Panel- Graedel, T.E.: Alwood, J.; Birat, J.-P.; Buchert, M.; Hagelüken, C.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonnemann, G.

		Staal	4.095	
		Zn	91	
motors	8.300	Cu	1.735	Cu –smelter
hoofdkabels/snoeren	15.011	Cu	12.760	Cu -smelter
kabels	17.607	Cu	9.689	Cu -smelter
plastics	107.306	PP	86.203	plastic industrie
		ABS	3.233	
		PS	6.465	
PWB	816	Cu	107	Integrated smelter
		Non-ferro metalen	53 (26*)	Integrated smelter
inerten	205.714	Inert materiaal	190.403	Bouwmateriaal
Totaal	**942.475**		**879.996**	**g/ton gerecupereerd**
	(94%)		**(88%)**	**recyclage-efficiëntie**

* Aanname: 50% van de oorspronkelijk in de PWB aanwezige speciale en edelmetalen gaat verloren in de voorbehandelingen (o.a. shredden, zeven,…) die plaatsvinden vooraleer de fractie bij de smelter terechtkomt

In het raffinageproces worden koper, speciale metalen en edelmetalen teruggewonnen uit de koperhoudende fracties en de printplaatfractie. De efficiëntie van de secundaire raffinage van koper en printplaten in een geïntegreerde smelter varieert naargelang het metaal, maar situeert zich voor alle metalen steeds tussen de 90-99%. Voor goud kan een efficiëntie van 98% worden bereikt, voor palladium zelfs 99%[45]. In de berekeningen wordt voor de overige metalen gewerkt met een algemene raffinage-efficiëntie van 95%.

In het eindresultaat wordt rekening gehouden met het verlies aan speciale en edelmetalen dat optreedt ten gevolge van het shredden van de printplaten, waardoor de edelmetalen sterk verspreid worden over alle outputfracties, waaruit ze in de meeste gevallen niet meer gerecupereerd worden. Uit een stofstroomanalyse[45] blijkt dat bij een typisch mechanische pre-processing slechts 11,5% van het zilver, 25,6% van het goud en 25,6% van het palladium effectief terecht komen in een fractie waaruit deze metalen gerecupereerd kunnen worden. Deze studie testte eveneens het effect van het shredden op het metaalgehalte in de resulterende printplaatfractie. Hieruit bleek dat voorgeshredde (8mm) printplaten ca. 7% minder edelmetalen bevatten dan ongeshredde. In het geval van doorgedreven shredden (2,5 mm) liep dit verlies zelfs op tot >60%. Deze resultaten worden waarschijnlijk sterk beïnvloed door de karakteristieken van het proces. In deze simulatie werd een gemiddeld verlies van 50% over alle speciale en edelmetalen verondersteld ten gevolge van het shredden van de printplaten.

Het eindresultaat van de recyclage van 23.403 ton Vlaams groot witgoed, in termen van gewicht van gerecycleerde materialen is weergegeven in

Tabel 25***. In totaal levert dit 20.568 ton functionele materialen op (88%).***

[45] Chancerel, P. (2010). Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment - An assessment of the recovery of gold and palladium. Technische Universität Berlin, Fakultät III – Prozesswissenschaften.

Tabel 25: Materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams GW

Materiaal	Gewicht	Eenheid
Steel low alloyed	12.532,06	Ton
Bouwmateriaal	4.456,00	Ton
PP	2.017,40	Ton
Cu	617,75	Ton
Stainless steel	362,44	Ton
Al	338,19	Ton
PS	151,30	Ton
ABS	75,65	Ton
Sn	8,26	Ton
Zn	2,28	Ton
Pb	0,12	Ton
Sb	0,01	Ton
Ni	4,06	Kg
Ag	1,30	Kg
Cr	0,81	Kg
Au	0,32	Kg
Pd	0,17	Kg

Een deel van de in de input aanwezige materialen wordt niet gerecycleerd; ze komen door onvolledige scheiding of sortering terecht in andere fracties als onzuiverheid, of hun oorspronkelijke materiaalfunctionaliteit gaat verloren door verbranding, of ze worden gestort. De niet gerecycleerde materialen bij groot witgoed zijn voornamelijk polymeren, waarvan veelal de calorische waarde benut wordt en de oorspronkelijke materiaalfunctionaliteiten verloren gaan. Ook de inerte fracties die als afdek- of vulmateriaal op storten terechtkomen, vertegenwoordigen een belangrijk aandeel van de niet gerecycleerde materiaalvolumes (zie Tabel 26). Polymeren en inerten maken meer dan 95% uit van het niet gerecycleerde materiaalvolume.

Tabel 26: Belangrijkste niet gerecycleerde materialen in de recyclage van Vlaams GW

Materiaal	Gewicht (ton)
Andere plastics	1.088
Inerte fracties	687
PP	306
glas	174
steel low alloyed	158
Cu	131
PVC	82
PUR	73

5.2.2 Resulterende fracties en materiaalopbrengsten uit het recyclageproces van OVE-IT

Ook Vlaams overig IT kent verschillende recyclageroutes. Deze verschillen aanzienlijk van deze voor groot witgoed (5.2.1). Een eerste route wordt geregistreerd via Recupel, waarbij de vrijgekomen apparaten in regel terecht komen bij erkende verwerkers (zie 3.3.2). Het gaat over **7.973 ton** voor 2012.

Dit Recupel-cijfer is alleszins een overschatting voor de productcategorie 3a (printers, copying equipment, facsimile equipment, telephones (fixed and mobile), including answering equipment, calculators, desktop and laptop computers), omdat het ook de flatscreen monitoren bevat (plasma, LCD, LED, OLED), die zowel in de Belgische massabalans2 als in Huisman et al. (2007)7 in andere productcategorieën worden ingedeeld. Er zijn geen gegevens bekend omtrent het aandeel van deze flatscreen monitoren is in deze 7.973 ton OVE-IT geregistreerd via Recupel.

De verwerking van het door Recupel geregistreerde hoeveelheid OVE-IT gebeurt volgens het schema weergegeven in 5.1.2.

Een tweede route betreft de apparaten die via lokale inzamelaars en regionale schrootbedrijven een parallelle stroom vormen bestaande uit volledige apparaten en voorshreddermateriaal. Deze volumes, in totaal **397 ton**, werden onder 3.3.3.1 benoemd als 'Shredders & EERA'. Deze niet-geregistreerde stroom komt uiteindelijk toch bij erkende verwerkers terecht. We veronderstellen daarom dat het verwerkingsproces (zie 5.1.2) en de materiaalopbrengst daarvan vergelijkbaar zijn met die van de geregistreerde volumes. We maken dezelfde veronderstelling voor het OVE-IT dat als monostroom of in voorshreddermateriaal uitgevoerd wordt naar de buurlanden om daar verwerkt te worden (3.3.3.2. en 3.3.3.3), in totaal **700 ton**. Dit geeft een totaal van **9.070 ton** OVE-IT (en flatscreen displays) dat gerecycleerd wordt volgens het schema uit 5.1.2.

Op deze manier wordt het OVE-IT verwerkt tot verschillende output fracties. In Tabel 27 wordt een overzicht gegeven van de berekende hoeveelheden (in gram per ton inputmateriaal) van dergelijke fracties uit de recyclage van Vlaams OVE-IT. Voor deze berekening werd een rekenmodel opgemaakt dat het effect van het sorteerproces op de inputstroom stapsgewijs simuleert. Hierbij werd gebruik gemaakt van de in Figuur 15 vermelde opbrengsten en zuiverheden, waarbij het aandeel onzuiverheden steeds evenredig werd ingevuld door de in de processtroom aanwezige materialen. Manuele demontagestappen werden steeds 100% efficiënt en zuiver verondersteld.

Tabel 27: Fracties uit recyclage Vlaams OVE-IT

Fractie GW	Fractie (g fractie/ton input)	Gerecycleerd materiaal	Gehalte (g in fractie/ton input)	Bestemming
Staalschroot	571.680	Staal	560.223	staalindustrie
Aluminiumschroot	9.500	Aluminium	8.930	Aluminiumindustrie
Roestvrij staalschroot	7.625	Roestvrij staal	7.243	Roestvrij staalindustrie
metalenmix export	28.723	Cu	4.135	Export (recyclage)

		Sn	408	
		Roestvrij staal	1.811	
		Staal	22.085	
		Zn	284	
hoofdkabels/snoeren	10.266	Cu	5.649	Cu -smelter
kabels	13.859	Cu	12.386	Cu -smelter
plastics	276.693	PP	4.662	plastic industrie
		ABS	92.468	
		PS	15.023	
		PE	5.180	
Gedemonteerde PWB	25.273	Cu	5.440	Cu/integrated smelter
		Non-ferrro metalen		
Geshredde PWB	10.061	Cu	2.287*	Cu/integrated smelter
		Non-ferro metalen		
inerten	30.786	Inert materiaal	10.577	Bouwmateriaal
Totaal	**955.743**		**758.793**	**g/ton gerecupereerd**

* Aanname: 50% van de oorspronkelijk in de PWB aanwezige speciale en edelmetalen gaat verloren in de voorbehandelingen (o.a. shredden, zeven,…) die plaatsvinden vooraleer de fractie bij de smelter terechtkomt

Ook bij OVE-IT worden in het raffinageproces koper, speciale metalen en edelmetalen teruggewonnen uit de koperhoudende fracties en de printplaatfractie. Voor de geïntegreerde smelter werden dezelfde efficiënties aangenomen als voor GW (5.2.1). In het eindresultaat wordt ook rekening gehouden met een verlies van 50% van de speciale en edelmetalen, dat optreedt ten gevolge van het shredden van de printplaten.

Het eindresultaat van de recyclage van 9.070 ton Vlaams OVE-IT, in termen van gewicht van gerecycleerde materialen is weergegeven in Tabel 28. In totaal levert dit 7.746 ton functionele materialen op (85%).Dit cijfer ligt veel hoger dan het recyclagepercentage voor de bredere categorie van OVE, dat 75,04% bedraagt.4 Dit wil zeggen dat de niet OVE-IT apparatuur die bij het OVE is ingedeeld (kleine huishoudelijke apparaten, niet beeldbuishoudende consumentenapparatuur, verlichtingsapparatuur, elektrisch en elektronisch gereedschap, speelgoed, apparatuur voor sport en ontspanning, medische hulpmiddelen en meet- en controle-instrumenten) gemiddeld genomen een veel lagere materiaalopbrengst heeft dan OVE-IT.

Tabel 28: Materiaalopbrengsten van de recyclage van Vlaams OVE-IT

Materiaal	Gewicht (ton)
Steel low alloyed	5.281,53
ABS-PC	878,63
ABS	838,69
PS	136,26
Cu	241,57
Bouwmateriaal	95,93
Stainless steel	82,12
Al	81,00
PE	46,99
PP	42,29
Zn	6,25
Sn	6,12
Ni	4,16
Pb	1,80
Cr	1,30
Ag	0,34
Sb	0,34
Au	0,14
Pd	0,05
Bi	0,02
	7.745,51

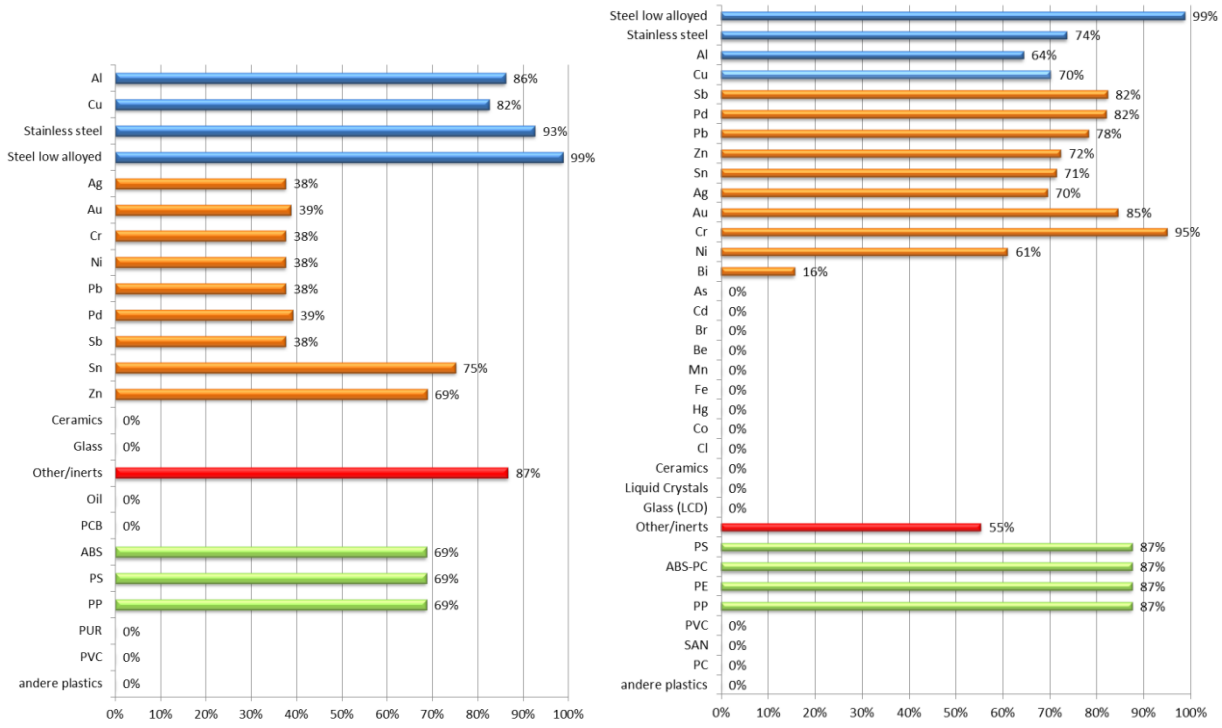
Ook hier wordt een deel van de in de input aanwezige materialen niet gerecycleerd. De niet gerecycleerde materialen bij overig IT zijn voornamelijk polymeren (SAN, ABS-PC, ABS, PC, PS, PVC, PE, PP en andere plastics) en laag gelegeerd staal dat onder meer in de slakfractie van de (geïntegreerde) smelter terecht komt. Deze maken meer dan 60% uit van het niet gerecycleerde materiaalvolume.

Tabel 29: Belangrijkste niet gerecycleerde materialen in de recyclage van Vlaams OVE-IT

Materiaal	Gewicht (ton)
SAN	265,83
Steel low alloyed	241,01
ABS-PC	125,62
ABS	119,91
Andere plastics	107,41
Cu	102,74
PC	91,30
Inerte fractie	77,52
Al	44,82
Ceramics	43,53
Stainless steel	29,40
PS	19,48
PVC	18,62
Glass (LCD)	8,64
PE	6,72
PP	6,05

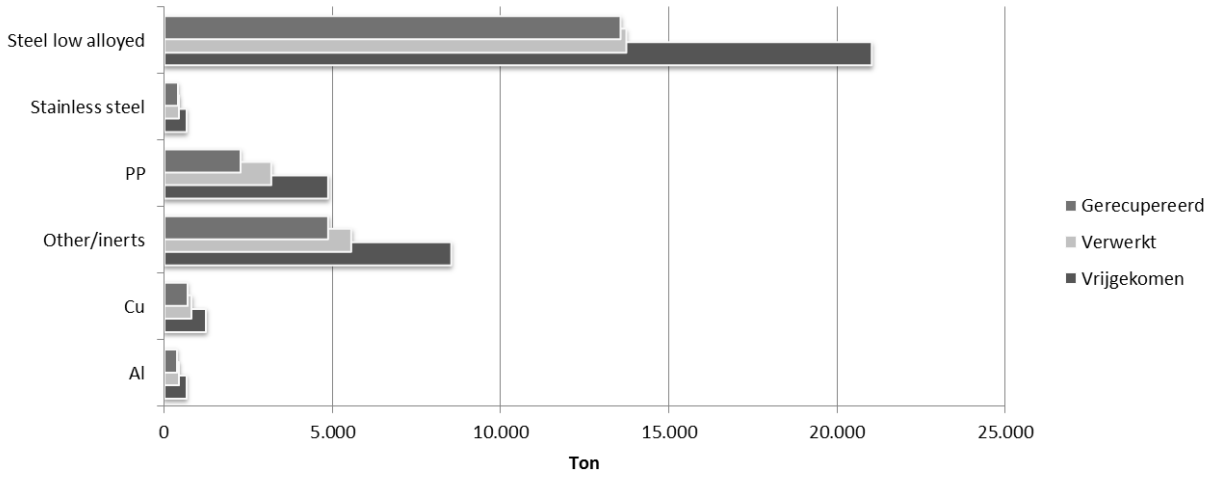
5.3 Samenvatting materiaalopbrengsten Vlaams GW en OVE-IT

In Figuur 17 wordt weergegeven welk percentage van elk materiaal in het vrijkomende AEEA dat wordt verwerkt via de gemodelleerde recyclageprocessen ook effectief en functioneel wordt gerecupereerd.

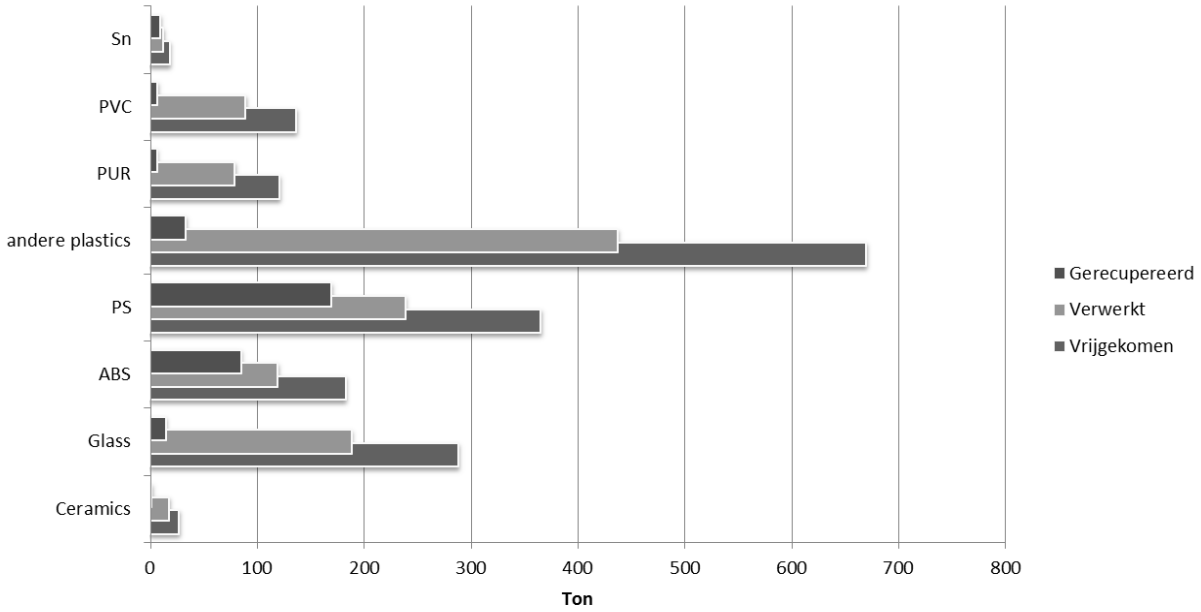


Figuur 17: Materiaalopbrengsten in gewicht van Vlaams GW (links) en OVE-IT (rechts) door recyclage

De performantie van het volledige verwerkingssysteem van groot witgoed kan gevisualiseerd worden door de totale (via de Belgische massabalans ingeschatte) vrijkomende materiaalvolumes af te zetten tegenover de verwerkte volumes enerzijds, en de gerecupereerde volumes anderzijds. Dit gebeurde in Figuur 18 en Figuur 19 voor GW. Uit de figuren blijkt dat de huidige verwerkingssystemen op een zeer efficiënte manier die materialen recupereren die een belangrijk gedeelte van het gewicht van deze productcategorie uitmaken.



Figuur 18: Recuperatie van materialen (>200 ton) uit de verwerking van vrijgekomen GW

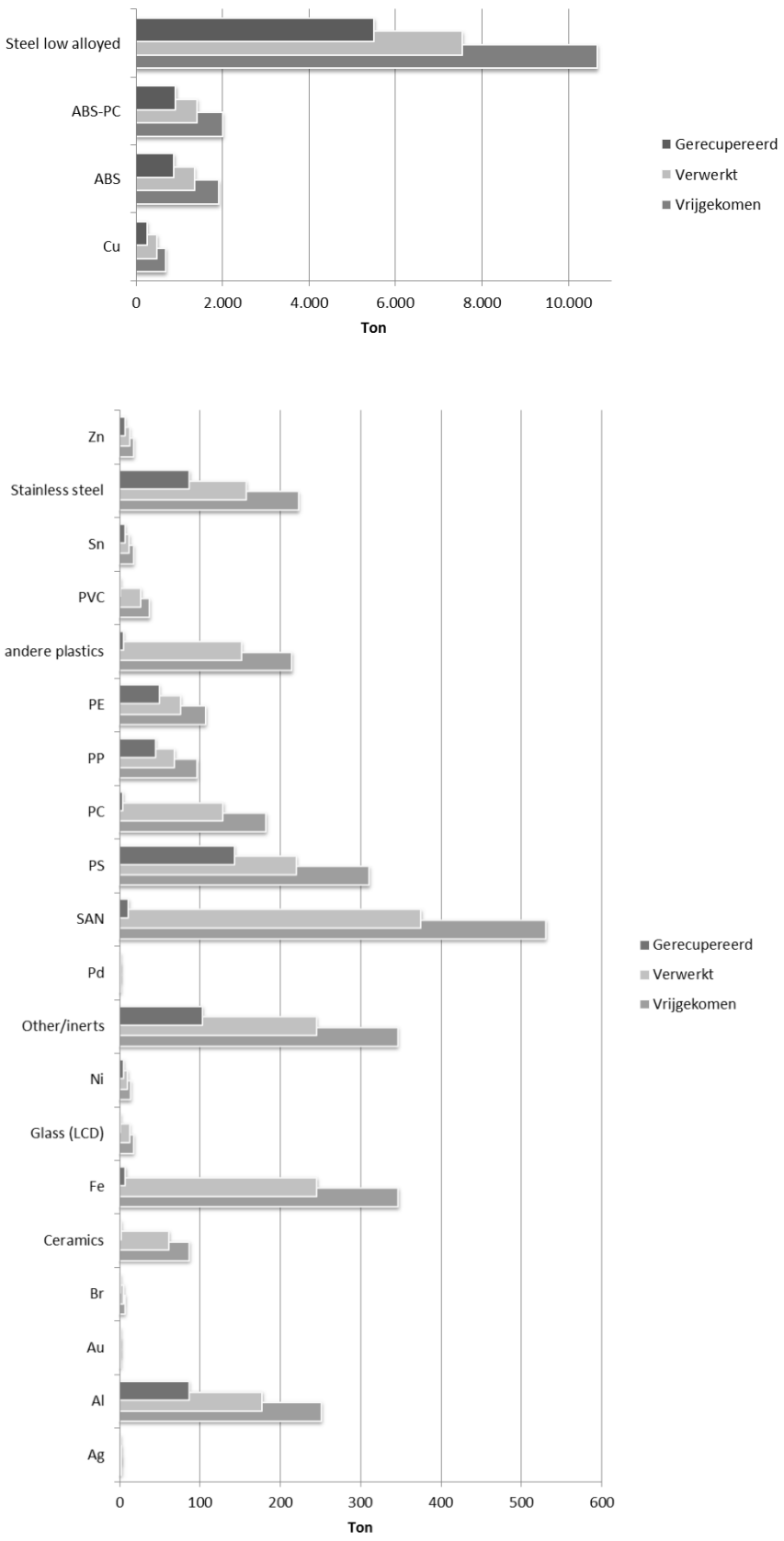


Figuur 19: Recuperatie van materialen (<200 ton)uit de verwerking van vrijgekomen GW

Samenvattend kan gesteld worden dat er in 2012 25.313 ton vrijgekomen Vlaams groot witgoed werd ingezameld voor hergebruik (1.910 ton) of recyclage (23.403 ton) in Vlaanderen of elders (23.403 ton). Dit maakte de recuperatie mogelijk van naar schatting 22.478 ton materialen (1.910 ton hergebruik en 20.568 ton functionele recyclage).

Het volledige verwerkingssysteem voor OVE-IT omvat ook de verbranding van de apparaten die in het huishoudelijk restafval terechtkomen. Dit betreft een aanzienlijk gedeelte (18%) van het totale vrijgekomen aanbod (zie Tabel 11). Het huishoudelijk restafval wordt ook ingezameld en verwerkt, maar deze inspanning leidt niet tot materiaalrecuperatie. Daarom is het aandeel van gerecupereerde materialen in het effectief verwerkte volume van volgens de Belgische massabalans vrijgekomen OVE-IT merkelijk kleiner dan voor GW. Een en ander is grafisch weergegeven in Figuur 20.

Samenvattend kan gesteld worden dat er in 2012 12.795 ton vrijgekomen Vlaams OVE-IT werd ingezameld voor hergebruik, recyclage of verbranding in Vlaanderen of elders. Dit maakte de recuperatie mogelijk van naar schatting 8.121 ton materialen (375 ton hergebruik en 7.746 ton functionele recyclage).



Figuur 20: Recuperatie van materialen uit de verwerking van vrijgekomen OVE-IT

6. Recyclage van AEEA in het kader van een duurzaam materialenbeleid

In de huidige wetgeving worden de recyclageresultaten van AEEA geëvalueerd op basis van het gewichtspercentage van de ingezamelde hoeveelheden per materiaal- en per productcategorie die effectief verwerkt worden. Een duurzaam materialenbeleid houdt echter meer in dan het voldoen aan de opgelegde inzamel- en recyclagedoelstellingen. Materialen die aanwezig zijn in AEEA ontlenen hun relevantie voor het bereiken van een verhoogde duurzaamheid uiteraard niet alleen aan het gewichtspercentage dat verwerkt wordt in recyclagebedrijven. Het verschil in marktwaarde maakt bijvoorbeeld het terugwinnen van goud relevanter dan de recuperatie van karton uit AEEA. De ontginning van bepaalde grondstoffen kan meer belastend zijn voor het milieu dan van andere, zodat door recyclage van materialen die uit dergelijke grondstoffen gemaakt worden een hogere milieuwinst kan bereikt worden. Tenslotte is het in een Europese context ook belangrijk rekening te houden met de kriticiteit van materialen voor de Europese economie. Dit houdt in dat sommige materialen een groter gewicht toebedeeld krijgen op basis van hun rol in strategische economische sectoren en/of omdat er een materiaalspecifiek bevoorradingsrisico bestaat. De duurzaamheidsresultaten van recyclageprocessen kunnen dus verbeterd worden door meer waardevolle, milieubelastende en schaarsere materialen te recupereren. In de volgende secties wordt het potentieel in Vlaanderen op deze vlakken onderzocht.

6.1 Kringloopsluiting (A)EEA

In deze sectie gaan we na wat de benaderende materiaalwaarde, uitgedrukt als de huidige marktprijs van primaire materialen, is van de EEA categorieën of producten waarvan de materiaalsamenstelling onderzocht werd, namelijk van de inzamelcategorieën groot witgoed en overig IT. Het resultaat geeft dan de theoretische maximumgrens aan van de waarde die door recyclage uit een product kunnen worden gerecupereerd. Uit de massabalansen die werden opgemaakt in sectie 2 kunnen we dan de totale initiële materiaalwaarde inschatten van de EEA in Vlaanderen voor beide productcategorieën.

Het resultaat van de recyclage van AEEA bestaat uit producten, materialen en stoffen die opnieuw inzetbaar zijn, voor hetzelfde of een ander doel. Deze worden aangeboden op de markt, waar een marktprijs betaald wordt. De prijs hangt in grote mate af van de kwaliteit en functionaliteit van het gerecycleerde materiaal: hoe dichter de functionaliteit van het gerecycleerde materiaal deze van het primaire materiaal benadert, hoe hoger de prijs. In deze zin is de marktprijs ook een indicator voor de mate waarin effectieve kringloopsluiting wordt verwezenlijkt.

Een marktprijs is uiteraard steeds een momentopname, en is slechts een indicator voor de waarde van het product. Door imperfecties van de markt voor gerecycleerde materialen, kunnen de verschillen tussen de waarde en de marktprijs aanzienlijk zijn. De marktprijs hangt uiteraard niet alleen af van de kwaliteit van het product, maar ook van de verhandelde volumes en de tijd en de

plaats van de transactie. Daarom kunnen de voor deze analyse gebruikte marktprijzen enkel beschouwd worden als een benaderende indicatie.

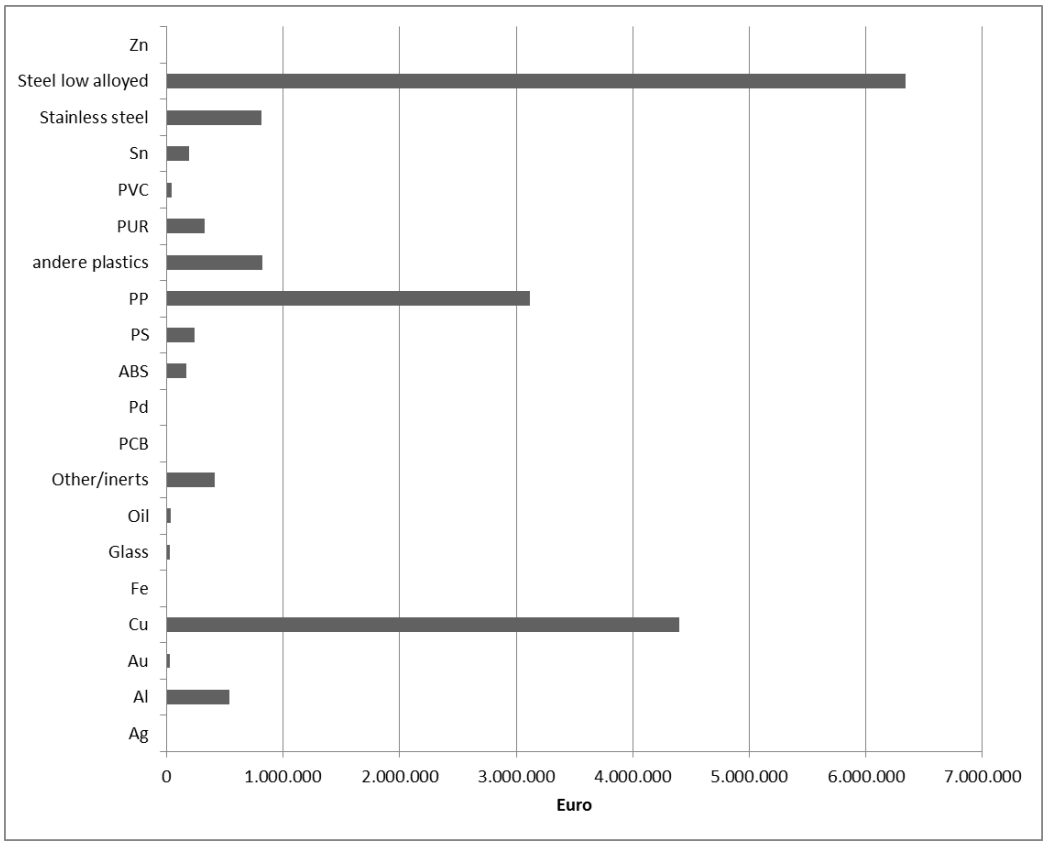
Een overzicht van de hier gebruikte marktprijzen van de oorspronkelijke en de gerecycleerde materialen, en van de geraadpleegde bronnen, wordt gegeven in BIJLAGE 5.

6.1.1 Materiaalwaarde groot witgoed

In totaal wordt er ***25.313 ton*** vrijgekomen groot witgoed ingezameld voor verwerking/hergebruik. Om een ruw idee te krijgen van de nieuwwaarde van deze apparaten, gaan we er vanuit dat het volledige volume uit wasmachines bestaat uit een relatief lage prijscategorie, van 61,4 kg, met een waarde van 329 euro[46]. De nieuwwaarde voor de consument bedraagt dan ongeveer **141 miljoen euro**. De consument betaalde in dit hypothetische geval een Recupelbijdrage van **429.625 euro**[47] bij aankoop van de wasmachines.

De materiaalwaarde is echter slechts een fractie van de marktprijs van een elektrisch apparaat (zie verder 7.1). De materiaalwaarde van vrijkomend Vlaams groot witgoed met gekende verwerkingsroute bedraagt **17.535.000 euro**, wat neerkomt op een 12% van de hoger geschatte nieuwwaarde. Dit bedrag geeft de maximale waarde weer die kan gerecupereerd worden door apparaat- en/of componenthergebruik en materiaalrecyclage. De verdeling van die waarde over de samenstellende materialen is weergegeven in Figuur 21. Materialen waarvan de totale absolute waarde minder dan 1.000 euro bedraagt zijn niet opgenomen. Laaggelegeerd staal, koper, polypropyleen en roestvrij staal maken 84% uit van de oorspronkelijke materiaalwaarde.

[46] Cijfers voor een wasmachine Zanussi ZWHB 7146 AP, A++, 7 kg op www.vandenborre.be, geraadpleegd op 25/04/2014
[47] www.recupel.be

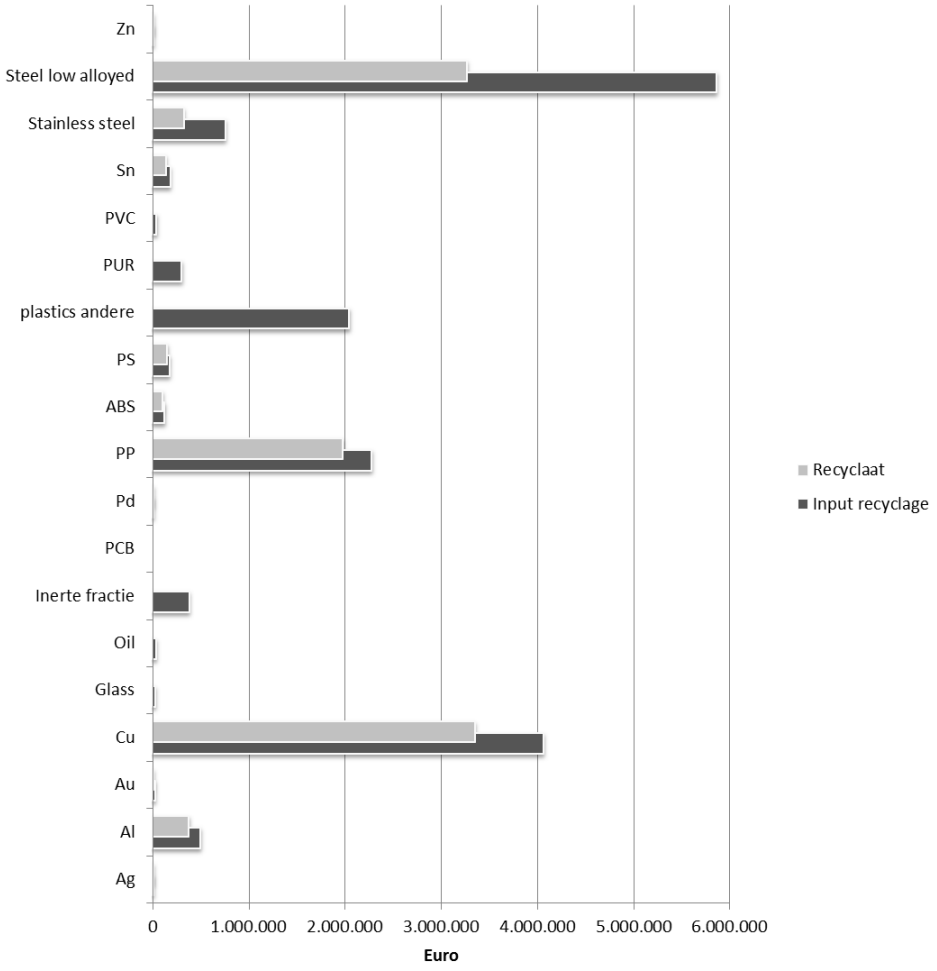


Figuur 21: Materiaalwaarde van vrijkomend Vlaams witgoed met gekende verwerkingsroute

Voor het gedeelte van het vrijkomende groot witgoed dat naar **hergebruik** gaat, kan een volledige functionele materiaalrecuperatie verondersteld worden, zonder waardeverlies.

De toepasbare outputfracties van de **materiaalrecyclage** hebben daarentegen in de meeste gevallen niet dezelfde waarde als het oorspronkelijke, in het apparaat aanwezige materiaal: het gerecupereerde (roestvrij) staal, koper en aluminium wordt als schroot aangeboden aan de metaalindustrie; PP-recyclaat wordt aan lagere prijzen verkocht dan primair PP, en gebruikt in toepassingen zoals bijvoorbeeld dakpannen, DVD-cases en ondergrond voor sportvelden[48]. Het volume groot witgoed dat verwerkt wordt met het oog op **materiaalrecyclage** bedraagt **23.403 ton** (zie 5.2.1), met een oorspronkelijke materiaalwaarde van **16.816.000 euro of 719 €/ton**. De totaalwaarde van de functioneel toepasbare outputs of recyclaten bedraagt **9.709.000 euro (58%** van de oorspronkelijke waarde), en wordt voor 92% gehaald uit laaggelegeerd staal, koper, polypropyleen en roestvrij staal. De verschillende soorten plastics vertegenwoordigen een aanzienlijk deel van de materiaalwaarde die niet gerecupereerd wordt in het huidige recyclagesysteem. Een en ander is weergegeven in Figuur 22.

[48] http://www.pp-recyclaat.nl/toepassingen



Figuur 22: Materiaalwaarde input recyclagesysteem GW versus recyclaatwaarde

De materiaalwaardeverliezen die het resultaat zijn van het recyclagesysteem van groot witgoed zijn toe te schrijven aan:

- het niet (volledig) recupereren van materialen, omdat een materiaal terecht komt als onzuiverheid in andere fracties (bvb. gemengde plasticfracties) of omdat het gebruikt wordt als reductans (bvb. plastics als cokes vervanger in staalindustrie) of wordt verbrand;
- beperkingen wat betreft het toepassingsgebied (bvb. inerte materialen als afdek- of bouwmateriaal);

Deze laatste beperking is in feite ook van toepassing op metaalschroot ((roestvrij) staal, koper, aluminium), waar het toepassingsgebied beperkt is tot de inzet als grondstof voor de metaalproductie. Het koper, staal en aluminium dat op de markt wordt gebracht bestaat voor meer dan de helft uit gerecycleerd schroot[31]. Hoewel voor de staalproductie sommige auteurs nog een onderscheid maken tussen een primaire staalproductieroute (Blast Furnace/Basic Oxygen Furnace) en een secundaire route (Electric Arc Furnace), zijn in de praktijk beide routes sterk geïntegreerd

waarbij in de verschillende oventypes zowel ijzererts als schroot wordt ingezet[49]. De prijs voor metaalschroot uit AEEA zal voornamelijk bepaald worden door de internationale prijs en vraag van basismetalen.

Op welke manier kan er dan een hogere materiaalwaarde gehaald worden uit het End-of-Life systeem van Vlaams groot witgoed?

- ***Het ingezamelde volume Vlaams groot witgoed wordt nagenoeg volledig verwerkt of hergebruikt, zodat op dit vlak weinig verbetering mogelijk is.***
- ***Een nog meer volledige recuperatie van laag gelegeerd staal, koper, PP en roestvrij staal lijkt geen tot beperkte groeikansen te bieden, ook niet wat het toepassingsgebied betreft. In de praktijk kan waarschijnlijk de recyclage van koper, na laaggelegeerd staal de belangrijkste fractie, vermoedelijk nog wel verbeterd worden, in het bijzonder door aangepaste technologieën en/of productdesign voor een betere scheiding van koper en staal uit elektromotoren.***
- ***De absolute waarde van edelmetalen in vrijkomend groot witgoed is zeer beperkt (<50.000 €). In de toekomst zouden componenten nodig om apparaten te integreren in 'smart grids' aan belang kunnen winnen, met een overeenkomstige toename van elektronische circuits, de voornaamste bron van edelmetalen.***
- ***De belangrijkste verliespost van het recyclagesysteem voor groot witgoed ligt in de plastic en polymeerfractie. Hoewel sommige polymeren, met name PP, ABS, ABS-PC en PS, al met succes in relatief zuivere fracties met specifieke toepassingen worden gescheiden, is dat voor andere nog niet of veel minder het geval. Daarbij moeten de eventuele winsten uit een ver doorgedreven sortering en scheiding van een uitgebreid gamma aan polymeren (PVC, PUR,..) en polymeermengsels, al dan niet met intussen verboden of nog toegelaten brandvertragers, worden afgewogen tegenover de waarde die deze polymeren halen uit hun calorische inhoud.***

'Quick wins' betreffende de recuperatie van materiaalwaarde liggen dus niet voor de hand. Optimalisatie van het End-of-Life systeem voor groot witgoed betreft voornamelijk maatregelen om recycling zoveel mogelijk uit te stellen door levensduurverlenging van apparaten en componenten (remanufacturing and repair).

6.1.2 Materiaalwaarde overig IT

In totaal wordt er ***12.795 ton*** vrijgekomen overig IT ingezameld voor recyclage, hergebruik of verbranding. Om een ruw idee te krijgen van de nieuwwaarde van deze apparaten, gaan we er vanuit dat het volledige volume bestaat uit desktops uit een relatief lage prijscategorie, van 6,86 kg, met een waarde van 599,98 euro[50]. De nieuwwaarde voor de consument bedraagt dan ongeveer **1.119**

[49] Broca, M. (2012). 'Less is more' : Pathways for Lower Steel Stocks in Developing Countries - An assessment of leapfrogging potentials in transportation. Master thesis. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

[50] Cijfers voor een desktop computer HP 500-225SB, processor AMD quad core A10-6700 APU, harde schijf 1TB, op www.krefel.be, geraadpleegd op 28/04/2014

miljoen euro. De consument betaalde in dit hypothetische geval een Recupelbijdrage van **93.258 euro**[51] bij aankoop van de desktops (0,05 € per apparaat, BTW inbegrepen).

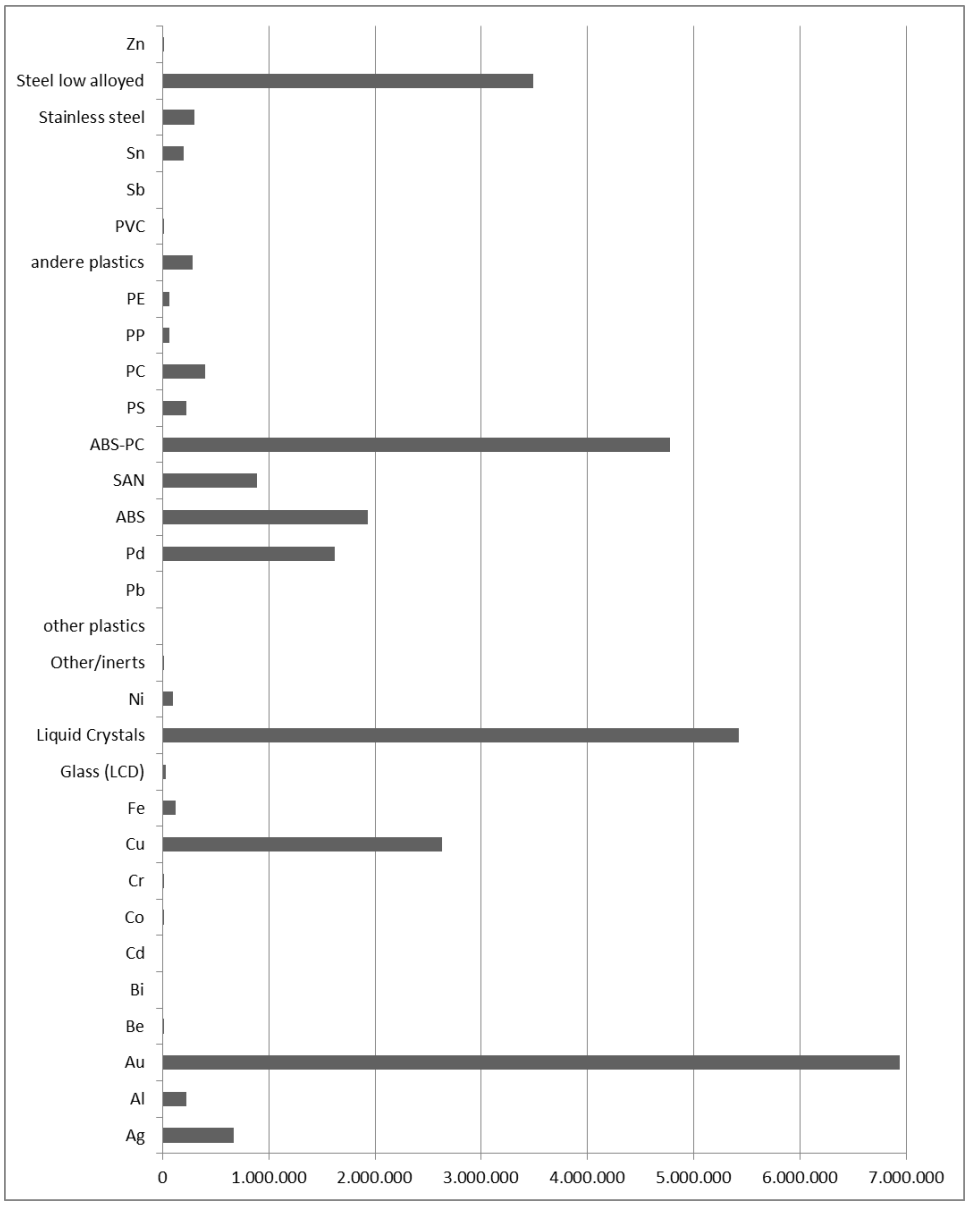
De materiaalwaarde is slechts een zeer kleine fractie van de marktprijs van een elektronisch apparaat (zie verder 7.1). De materiaalwaarde van vrijkomend Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute bedraagt **30.518.000 euro**, wat neerkomt op nog geen 3% van de hoger geschatte nieuwwaarde. Bovendien is dit, vanuit het grondstoffenperspectief van deze studie, nog een overschatting, omdat er een hoge materiaalwaarde werd gegeven aan liquid crystals. Vele liquid crystals zijn in feite relatief eenvoudige polymere organische verbindingen. Metallotropische liquid crystals bestaan zowel uit organische als anorganische moleculen[52]. Liquid crystals hebben dus een zeer beperkte grondstoffenwaarde en moeten eerder als een component beschouwd worden. Functionele liquid crystals kunnen wel gerecycleerd worden, met de superkritische CO_2 fluïdum techniek, waarbij op laboratoriumschaal recyclagepercentages van 90% worden bereikt[53].

De verdeling van bovenstaande waarde over de samenstellende materialen is weergegeven in Figuur 23. Materialen waarvan de totale absolute waarde minder dan 1.000 euro bedraagt zijn niet opgenomen. In het geval van OVE-IT zit meer dan 28% van de oorspronkelijke materiaalwaarde in de verschillende polymeren, gevolgd door goud (23%), liquid crystals (18%), laaggelegeerd staal (11%) en koper (9%).

[51] www.recupel.be

[52] Bhuyan, D. (2013). Phase transition and structural studies of symmetric liquid crystal dimers. North Eastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST).

[53] Hu Bing Zhu et al. (2012). Study on Method of Recycling Liquid Crystal from Waste LCD Based on Supercritical CO2 Fluid Technology. Advanced Materials Research, 479-481, 2165



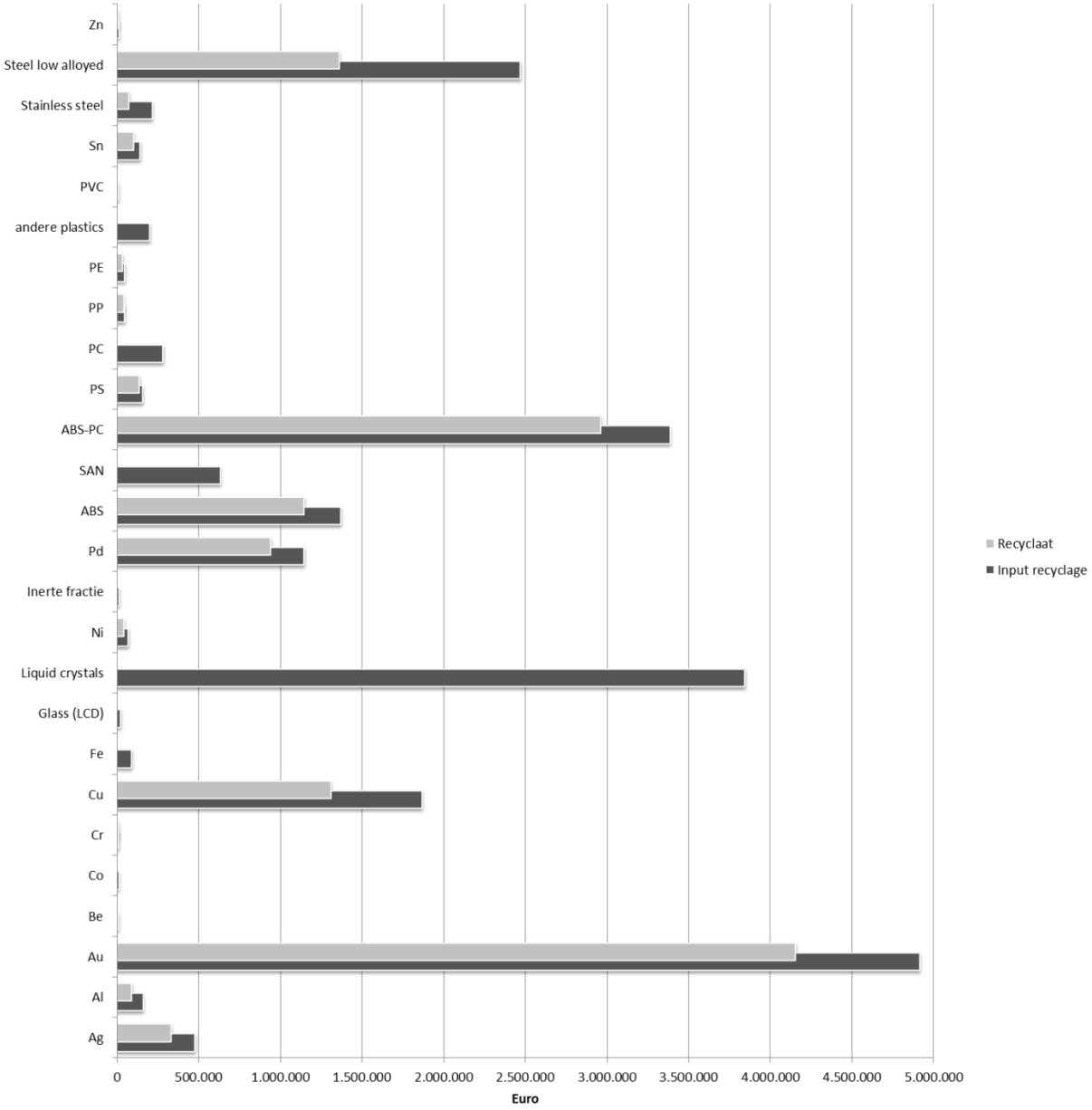
Figuur 23: Materiaalwaarde van vrijkomend Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute

De waarde van het overig IT dat in het huishoudelijk **restafval** terechtkomt en als dusdanig wordt verbrand, wordt beschouwd als verloren. Het gaat hier om een verlies van bijna **8 miljoen euro**, uitgedrukt als oorspronkelijke materiaalwaarde. Voor het gedeelte van het vrijkomende overig IT dat naar **hergebruik** gaat, kan een volledige functionele materiaalrecuperatie verondersteld worden, zonder waardeverlies.

Het volume overig IT dat verwerkt wordt met het oog op **materiaalrecyclage** bedraagt **9.070 ton** (zie 5.2.2), met een oorspronkelijke materiaalwaarde van **21.633.000 euro of 2.385 €/ton**. De totaalwaarde van de functioneel toepasbare outputs of recyclaten bedraagt **12.178.000 euro (56%** van de oorspronkelijke waarde).

Er zijn belangrijke verschillen tussen de recuperatie van materiaalwaarde bij groot witgoed en bij overig IT. Enerzijds is het volume overig IT dat naar materiaalrecyclage gaat aanzienlijk kleiner dan dat van groot witgoed, maar is de materiaalwaarde per ton 3,3 keer hoger. In beide gevallen wordt echter iets minder dan 60% van de oorspronkelijke materiaalwaarde gerecupereerd.

In Figuur 24 wordt de verdeling van de waarde over de verschillende materialen grafisch weergegeven.



Figuur 24: Materiaalwaarde input recyclagesysteem OVE-IT versus recyclaatwaarde

Op welke manier kan er dan een hogere materiaalwaarde gehaald worden uit het End-of-Life systeem van Vlaams overig IT?

- ***Er belandde naar schatting voor ongeveer acht miljoen euro aan materialen in overig IT in de restafvalzak. Indien dit volume zou worden aangeboden voor materiaalrecyclage, zou hieruit in principe nog voor bijna 4,5 miljoen recyclaatwaarde kunnen gerecupereerd worden.***
- ***Een nog meer volledige recuperatie van laag gelegeerd staal en koper lijkt geen tot beperkte groeikansen te bieden, ook niet wat het toepassingsgebied betreft.***
- ***In tegenstelling tot wat het geval was bij groot witgoed, is de absolute waarde van edelmetalen in vrijkomend overig IT zeer belangrijk (> 9 miljoen euro). In de toekomst zouden componenten nodig om apparaten te integreren in 'smart grids' aan belang kunnen winnen, met een overeenkomstige toename van elektronische circuits, de voornaamste bron van edelmetalen.***
- ***De belangrijkste verliespost van het recyclagesysteem voor overig IT wat betreft materiaalwaarde ligt in de liquid crystals fractie, in feite een component gemaakt van weinig waardevolle grondstoffen.***
- ***De prijs van staalschroot van laaggelegeerd staal zorgt ook hier voor een aanzienlijk waardeverlies.***
- ***Een aanzienlijk gedeelte (8,6% of 760.000 euro) van de materiaalwaarde van de input gaat verloren onder de vorm van goud dat verspreid wordt over verschillende outputfracties in de mechanische scheiding en sortering.***
- ***Tenslotte wordt ook hier een belangrijk deel van de plastic- en polymeerfractie, die nog veel meer divers is dan in het geval van groot witgoed, niet gerecycleerd, en gelden dezelfde bemerkingen (zie 6.1.1).***

6.2 Milieu-impacts (A)EEA

In deze sectie worden de milieulasten ingeschat die verbonden zijn aan de ontginning en/of productie van de materialen in de EEA, meer bepaald in de inzamelcategorieën groot witgoed en overig IT. Daarnaast worden eveneens de milieuvoordelen begroot die toegeschreven kunnen worden aan gerecycleerde materialen uit AEEA. Hoewel voor deze inschattingen methoden worden gebruikt uit het domein van de levenscyclusanalyse (LCA), wordt in deze studie géén levenscyclusanalyse gemaakt van EEA. De methoden wordt enkel gebruikt om een indicatorwaarde voor milieu-impact te kunnen toekennen aan de materialen in (A)EEA en de resulterende recyclaten.

De netto milieu-impact van een gerecycleerd materiaal bestaat uit 4 elementen: (e1) de milieu-impacts veroorzaakt door de grondstof- en energienoden en de emissies van het recyclageproces, (e2) de milieu-baten ten gevolge van de emissies die worden vermeden in de primaire productie van de materialen die vervangen worden door toepassing van de recyclaten, (e3) de milieu-baten ten

gevolge van energierecuperatie uit de fracties die naar verbranding gaan en (e4) de milieu-impacts ten gevolge van het storten van restfracties[54].

Aangezien de focus van deze studie ligt op de milieuvoordelen ten gevolge van *materiaal*recyclage, worden eventuele milieuvoordelen ten gevolge van energierecuperatie uit de verbranding van bepaalde fracties (e3) en de milieu-impacts ten gevolge van het storten van onbenutte of ongewenste fracties (e4) niet meegeteld. De milieu-impacts (energieverbruik, emissies,…) die het gevolg zijn van de recyclageprocessen zelf (inzameling, sortering, opschoning, secundaire raffinage, granulatie) (e1) worden eveneens niet meegerekend. Deze vereenvoudiging laat toe om de milieuvoordelen van materiaalrecyclage relatief eenvoudig en snel te begroten voor een brede waaier van materialen, maar heeft tevens als gevolg dat deze milieuvoordelen overschat worden, aangezien de bewerkingen die nodig zijn om tot inzetbare recyclaten te komen als 'impactloos' beschouwd worden, wat uiteraard niet het geval is. Echter, de fout die hierdoor gemaakt wordt, is relatief beperkt, aangezien de milieu-impacts ten gevolge van sortering en voorbehandeling klein zijn t.o.v. de impacts van secundaire raffinage[55,56], waarbij beiden samen meestal maar een fractie bedragen van de impacts van primaire ontginning en productie, zeker in het geval van (edel)metalen[57,58] die uit laaggeconcentreerde ertsen worden gewonnen, gebruik makende van energie-intensieve mijnbouw en complexe raffinageprocessen. Ook voor plastics geldt dat de energieconsumptie van recyclageprocessen verwaarloosbaar is t.o.v. die van de primaire productie, zelfs in het geval van gemengde plastics[59].

6.2.1 Bepalen van de milieu-impacts van EEA

Het inschatten van de milieu-impacts van de materialen gebeurt aan de hand van de ReCiPe-methode op basis van de beschikbare gegevens over materiaalproductie in de EcoInvent 3.0 databank. Voor het berekenen van de milieu-impacts verbonden aan materialen werd in deze studie gebruikt gemaakt van de datasets die betrekking hebben op de globale gemiddelde 'marktmix' of 'consumptiemix' ('market for {GLO}') van elk van de betrokken materialen. Deze mix houdt rekening met de verschillende landen van oorsprong, de verschillende productiemethodes die mogelijk zijn, het aandeel en type van gerecycleerde materialen die momenteel al worden ingezet en de transportmodi en –afstanden die nodig zijn om het eindmateriaal bij de bestemmeling (productiebedrijf) of consument te brengen meegenomen[60]. Voor de meeste materialen aanwezig in EEA was een dergelijke dataset in EcoInvent 3.0 beschikbaar. Voor bismut en berillium echter niet, waardoor deze elementen verder niet werden meegenomen in de milieu-analyse. Voor 'ceramics'

[54] European Commission's Joint Research Centre (2012). Product Environmental Footprint Guide - consolidated version.
[55] Hischier, R., Wäger, P., Gauglhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). Environ. Impact Assess. Rev. 25, 525-539.
[56] Wäger, P. (2011). Scarce metals: Applications, supply risks and need for action. Not. Polit. XXVII (104), 57-66.
[57] Bigum, M., Brogaard, L., Chistensen, T. (2012). Metal recovery from high grade WEEE: A life cycle assessment. J. Hazard. Mater. 207-208, 8-14.
[58] Scharnhorst, W., Althaus, H.-J., Hilty, L.M., Jolliet, O. (2006). Environmental assessment of end-of-life treatment options for a GSM 900 Antenna Rack. Int. J. LCA 11(6), 425-436.
[59] WRAP (2008). LCA of management options for mixed waste plastics. Waste & Resources Action Programme, MDP017, London.
[60] http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-3/introduction/

werd door ontstentenis van een geschikte dataset in EcoInvent, ter vervanging een dataset uit de databank IDEMAT 2001 (ontwikkeld door de Universiteit van Delft, gericht op materiaalproductie) gebruikt, namelijk deze voor 'piezo-electric ceramics', aangezien uit de massabalans blijkt dat deze materialen zich op de printplaten situeren. Voor 'general plastics-others' werd de gemiddelde waarde gebruikt van de milieu-impacts van de bulkplastics (PP, PE, ABS, PC, …), aangezien er geen verdere detailgegevens beschikbaar waren over de precieze aard van deze plastics.

Op deze manier kunnen we de totale milieu-impact inschatten die geassocieerd is aan de EEA in Vlaanderen, voor de productcategorieën groot witgoed en overig IT. Dit resultaat is tevens de theoretische maximumgrens van de milieuvoordelen die 'teruggewonnen' kunnen worden via hergebruik en materiaalrecyclage uit AEEA.

6.2.2 Milieuvoordelen van materiaalrecyclage

Materiaalrecyclage heeft een gunstig effect op het milieu. Immers, door materialen te recycleren komen deze grondstoffen opnieuw ter beschikking in de economie en moet deze hoeveelheid materiaal niet meer via ontginning en primaire raffinage worden geproduceerd, m.a.w. de milieu-impacts van primaire materiaalproductie worden vermeden dankzij het gebruik van gerecycleerde materialen.

6.2.2.1 Verschillende types van recyclage

De recyclage van AEEA resulteert in producten (componenten), materialen (basis- en engineering-) en stoffen die opnieuw inzetbaar zijn in productieprocessen, voor hetzelfde of een ander doel. Sommige materialen kunnen zeer hoogwaardig gerecycleerd worden zonder verlies van functionaliteit, waardoor ze zonder problemen kunnen worden ingezet voor hun oorspronkelijke (of een andere, maar gelijkwaardige) toepassing. In dit geval spreken we van ***'closed loop'* recycling**. In dergelijke gevallen kunnen de milieu-impact gelinkt aan het oorspronkelijk materiaal maximaal worden teruggewonnen door recyclage. Binnen closed-loop recyclage kan een onderscheid gemaakt worden tussen de recyclage van individuele 'zuivere' metalen, zoals koper en niet gelegeerd staal (*'closed metal loop'*) en de recyclage van legeringen, zoals laag- of hooggelegeerd staal, roestvrij staal en aluminiumlegeringen (*'closed alloy loop'*).[61] Het is immers meestal interessanter om metalen als legering te recycleren dan om de samenstellende metalen van elkaar te scheiden.

Verliest een materiaal een deel van zijn functionaliteit bij de recyclage (bvb. door onzuiverheden of structuurverlies), dan wordt gesproken van ***'open loop'* recycling** en wordt het recyclaat in een andere toepassing ingezet. Vaak wordt hierbij gesproken van 'downcycling'. Zo komen inerte materialen uit AEEA, zoals beton en glas, typisch terecht in een gemengde, minerale fractie die niet meer kan worden ingezet in de glasindustrie of voor cementproductie. Een dergelijke fractie vindt wel nog een toepassing als afdekmateriaal voor stortplaatsen of fundering voor wegen, en vervangt in die toepassing dus de functionaliteit van zand of grind (en niet die van glas of beton). De milieuvoordelen die aan een dergelijke open-loop route gelieerd zijn, zijn in meeste gevallen ook heel

[61] Dubreuil, A., Young, S.B., Atherton, J., Gloria, T.P. (2010). Metals recycling maps and allocation procedures in life cycle assessment. Int J LCA 15:621-634.

wat lager dan de milieu-impacts die in het oorspronkelijke materiaal vervat zaten. Dergelijke open-loop recyclage gebeurt ook wanneer kleine hoeveelheden materiaal als onzuiverheid terecht komen in een gerecycleerde fractie van een ander doelmateriaal, zoals bvb. kleine hoeveelheden koper die in staalschroot terecht komen. In geval van metalen, wordt dit ook wel '*transfer to other metal pool genoemd*'[61]. Indien de onzuiverheden geen negatief effect hebben op de toepasbaarheid van het hoofdmateriaal, is het meestal niet nodig (en niet economisch interessant) om een verdere afscheiding door te voeren. Dit betekent echter in veel gevallen dat de functionaliteit van de onzuiverheden volledig verloren gaat door de opmenging met het andere materiaal. Aangezien deze onzuiverheden noch noodzakelijk, noch gewenst zijn, vervangen ze ook geen primair materiaal, waardoor voor deze onzuiverheden geen recyclagevoordelen geboekt worden. In sommige gevallen kunnen de onzuiverheden er zelfs voor zorgen dat het hoofdmateriaal een deel van zijn oorspronkelijke functionaliteit verliest. Indien technisch en economisch haalbaar zullen bepaalde onzuiverheden dus toch worden afgescheiden door verdere processtappen *('transfer to and recovery from other metal pool'*)[61]. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de secundaire raffinage van de printplaatfractie die naast koper belangrijke gehalten aan edelmetalen en speciale metalen bevat. Dankzij deze verdere raffinage worden opnieuw zuiver goud, zilver, nikkel, enz. bekomen die opnieuw kunnen worden ingezet als grondstof met behoud van hun oorspronkelijke functionaliteit.

6.2.2.2 Marktsituatie van de recyclaten

Echter, ook de marktsituatie speelt een rol in de toepassingsmogelijkheden van gerecycleerde materialen. Immers, vaak is het aandeel recyclaat dat in een productieproces kan worden ingezet beperkt, of vereist deze inzet bijkomende bewerkingen of complexere productieprocessen. In een groeiende markt met stijgende grondstofprijzen, zal de vraag naar gerecycleerde materialen eveneens stijgen: door de grotere productievolumes is er meer ruimte om recyclaat efficiënt in te zetten en het wordt aantrekkelijker over te stappen op goedkopere (gerecycleerde) grondstoffen. In een dergelijke situatie kan men er dan ook vanuit gaan dat de geproduceerde recyclaten effectief zullen worden toegepast in hoogwaardige toepassingen en dat ze daar (een deel van de) primaire materialen zullen vervangen. Is de markt echter gelimiteerd, krimpend, of wordt er in verhouding meer recyclaat aangeboden dan kan geabsorbeerd worden door de markt, kan niet meer zomaar worden aangenomen dat alle gerecycleerd materiaal primaire productie vervangt. Het kan bijvoorbeeld zijn dat het gerecycleerde materiaal slechts ander (minderwaardig) gerecycleerd materiaal vervangt. In het slechtste geval is er geen markt voor het recyclaat.

6.2.2.3 Het inschatten van de milieuvoordelen van recyclage: methodologie

Het correct in rekening brengen van de milieuvoordelen van recyclage is het onderwerp van vele methodologische discussies binnen het werkdomein van de levenscyclusanalyse. Er zijn twee hoofdbenaderingen om recyclagevoordelen mee te nemen in de berekening van milieu-impacts: de 'recycled content'-aanpak, die rekening houdt met het aandeel gerecycleerde materialen dat in een product wordt gebruikt, en de 'end-of-life'-recycling aanpak, die rekening houdt met het toekomstig hergebruik van de gerecycleerde materialen en de (primaire) milieu-impacts die hierdoor worden vermeden. De keuze van aanpak heeft een verregaande invloed op het uiteindelijke resultaat van de milieu-impactanalyse en kan de vergelijkbaarheid van verschillende LCA-studies sterk vermoeilijken.

Vandaar dat zowel vanuit beleidsgerichte onderzoeksinstellingen (bvb. ILCD-handboek vanuit het JRC) als vanuit sectororganisaties richtlijnen worden opgesteld over de beste methode om om te gaan met de milieuvoordelen ten gevolge van materiaalrecyclage. Binnen de metaalindustrie krijgt het gebruik van de end-of-life recycling methode de voorkeur[62,63]. De reden hiervoor is dat een te sterke focus op 'recycled content' de vraag naar gerecycleerde metalen stimuleert, terwijl de vraag voor de meeste metalen reeds groter is dan het aanbod. End-of-life recycling, echter, verlegt de aandacht naar het verbeteren van de recycleerbaarheid van producten (bvb. via design) en de verhoging van de efficiëntie van recyclageprocessen en is op die manier meer toekomstgericht.

Aangezien voorliggende studie een vergelijking wil maken tussen de milieu-impacts die vervat zitten in het oorspronkelijke EEA en de milieuvoordelen die geboekt kunnen worden door materiaalrecyclage, is het belangrijk om de 'theoretische maximumgrens' die bepaald werd door de milieu-impact van het oorspronkelijk EEA niet te overschrijden bij het toekennen van de recyclagebonus. Aangezien milieu-impact van de materiaalinput berekend werd aan de hand van de EcoInvent-data die rekening houden met het aandeel aan recycled content in elk materiaal (conform de realiteit), zou het strikt toepassen van de 'end-of-life'-recycling methode voor de recyclage-outputs kunnen leiden tot netto 'milieuwinsten' (voor al het gerecycleerd materiaal zouden dan immers milieuboni à rato van primair materiaal worden toegekend). Dergelijk resultaat kan uiteraard niet. Om dit probleem te verhelpen, kunnen we beroep doen op een scala aan hybride-methodes die beide (theoretische) benaderingen combineren en daarbij zo dicht mogelijk trachten aan te leunen bij de realiteit.

De **eenvoudigste aanpak** bestaat erin om de milieuvoordelen van materiaalrecyclage uit AEEA op dezelfde wijze toe te kennen als de milieu-impacts die bij de productie van EEA in rekening werden gebracht, nl. door ook voor de gerecycleerde materialen gebruik te maken van de gemiddelde consumptiemix van het (vervangen) materiaal.

De '**value-corrected substitution**'-methode is gebaseerd op de EoL-recycling methode, maar past een correctiefactor toe op basis van een vergelijking van de marktprijzen van recyclaat en primair materiaal. Deze methode biedt een oplossing voor die materialen waarbij de kwaliteit van het gerecycleerd materiaal lager is dan die van primair materiaal, zelfs indien het recyclaat nog steeds kan worden ingezet in de oorspronkelijke toepassing. Hoewel deze methode zeker zijn merites heeft (en door sommige metaalverwerkende sectoren naar voor wordt geschoven[63]), wensen we in voorliggende studie de milieu- en economische effecten (zie 6.1) zoveel mogelijk gescheiden te behandelen, waardoor in deze context de VCS-methode minder geschikt is voor het kwantificeren van de milieu-impacts.

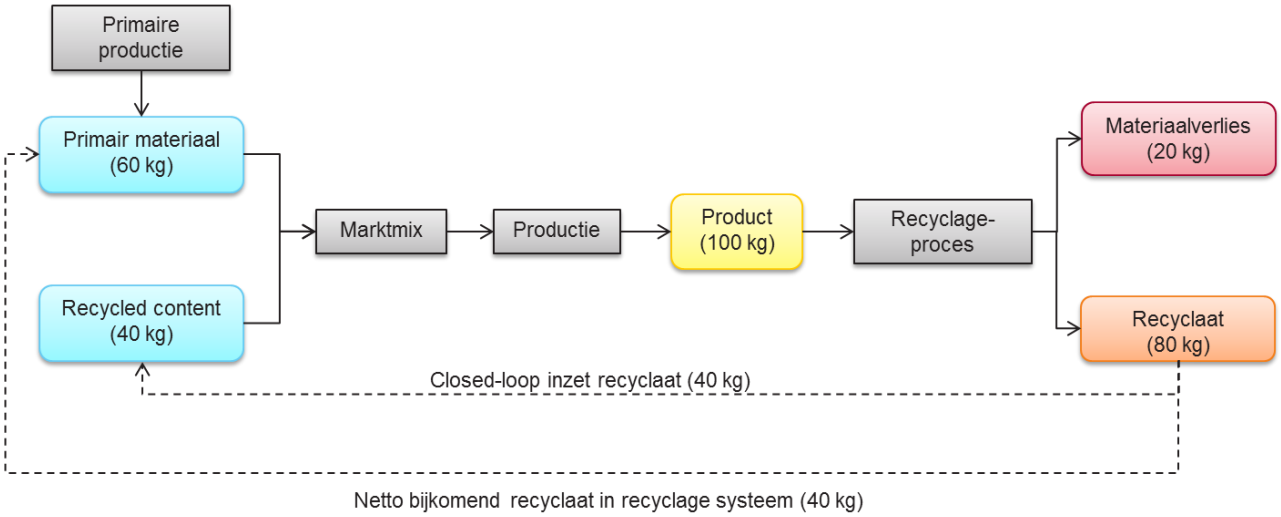
Een interessante aanpak in het kader van deze studie is de **'net scrap'-methode** (EN15804)[64]. Deze benadering heeft als bijkomend voordeel dat ze de realiteit goed weergeeft en intuïtief begrijpbaar is. De methode erkent expliciet dat de marktmix van de meeste bulkmetalen niet uit louter 'primair'

[62] Atherton, J. (2007). Declaration by the Metals Industry on recycling Principles. Int J LCA 12 (1), p.59-60.

[63] European Aluminium Association, 2007. Aluminium recycling in LCA.

[64] Bergsma, G., Sevenster, M. (2013). End-of-life best approach for allocating recycling benefits in LCAs of metal packaging. CE Delft.

materiaal bestaat, maar reeds een bepaald percentage aan gerecycleerde grondstoffen bevat, waarbij primair en secundair materiaal zelfs niet meer van elkaar te onderscheiden zijn. Als gevolg van deze recycled content is hun milieu-impact lager is dan bij 100% primair metaal. In de net-scrap methode wordt enkel een 'milieu-bonus' toegekend aan de bijkomende hoeveelheid gerecycleerd materiaal (of 'scrap') die uit een EoL-product wordt bekomen, rekening houdend met de hoeveelheid gerecycleerd materiaal die reeds aanwezig was in het originele product. Dit betekent dat zowel het gebruik van gerecycleerd materiaal (en dus lagere milieu-impacts van de productie) als het maximaal recycleren van het EoL-product (met de productie van nieuw gerecycleerd materiaal) gewaardeerd worden in termen van milieuwinsten. De mate waarin dit extra scrap dan primair, secundair of een totaal ander materiaal vervangt, is afhankelijk van de kwaliteit, de mogelijke toepassingen en de marktvraag (zoals hoger beschreven).



Figuur 25: Schematische voorstelling van de 'net-scrap'-methode (aangepast[64])

In deze studie zal gebruik gemaakt worden van de 'net scrap'-aanpak, die steeds zal worden vergeleken met de eenvoudige methode waarbij zowel voor inputs als voor outputs van recyclage de gemiddelde consumptiemix wordt gebruikt.

6.2.3 Milieuvoordelen per materiaal(categorie)

De milieugegevens die in deze studie worden gebruikt, zijn afkomstig uit de EcoInvent 3.0-databank. In de volgende paragrafen wordt kort besproken hoe de milieuvoordelen voor elk(e) materiaal(groep) in rekening werden gebracht.

6.2.3.1 Laaggelegeerd staal

Laaggelegeerd staal is een legering van ijzer en koolstof, waarbij maximaal 5% andere legeringselementen aanwezig zijn. De consumptiemix van laaggelegeerd staal in EcoInvent 3.0 bestaat voor 63% uit 'primair staal', geproduceerd via het converter-proces (blast oxygen furnace - BOF) en voor 37% uit 'secundair staal', geproduceerd in een vlamboogoven (electric arc - EA). BOF-

staal wordt grotendeels geproduceerd uit 'pig iron', een tussenproduct op basis van ijzererts. Er wordt ca. 12% staalschroot toegevoegd aan dit proces (volgens EcoInvent, andere bronnen spreken van een hoger gehalte[65]). EA-staal gebruikt voornamelijk staalschroot als input. Dit schroot is zowel pre- als post-consumerschroot. Indien we eenvoudigheidshalve aannemen dat BOF-staal 100% primaire grondstoffen gebruikt en EA-staal 100% schroot, betekent dit dus dat naar schatting 37% van het staal dat op de markt wordt aangeboden afkomstig van gerecycleerd schroot (uitgaande van de EcoInvent-gegevens). Hierbij maken we abstractie van het verschil tussen pre- en post-consumerschroot. De milieu-impact van EA-staal (73 Pt/ton) bedraagt slechts een fractie (14%) van de impacts van BOF-staal (498 Pt/ton). Hierbij spelen zowel de hoge milieu-impact van de ontginning van ijzererts als het hoog energieverbruik van de 'blast furnace' waarin het ijzererts gereduceerd wordt een belangrijke rol[66]. De gemiddelde impact van de consumptiemix van staal bedraagt dan het gewogen gemiddelde van beide productiemethodes, inclusief de impacts van de bijhorende transporten tot de productiefabriek van de elektrische apparaten. Staalrecyclage kan aanzien worden als closed-loop-recyclage, aangezien metalen in principe eindeloos recycleerbaar zijn. 'Staal' is echter een verzamelnaam voor meer dan 3500 verschillende kwaliteiten en legeringen. Het Institute for Scrap Recycling Industries onderscheidt eveneens meer dan 100 schrootkwaliteiten[67]. Bepaalde ongewenste onzuiverheden, zoals koper, tin en nikkel, zijn zeer moeilijk te verwijderen uit staalschroot, waardoor de kwaliteit en toepassingsmogelijkheden beperkt worden en er risico bestaat op opconcentratie doorheen opeenvolgende recyclagecycli. Andere metalen, zoals chroom, zink en lood, kunnen deel uitmaken van specifieke staallegeringen of kunnen relatief eenvoudig metallurgisch worden afgescheiden. Echter, aangezien de vraag naar staal groeit (voornamelijk vanuit China), is de vraag naar staalschroot groter dan het aanbod op de markt, waardoor het ook steeds economisch interessanter wordt om post-consumerschroot op te schonen en in te zetten[66]. Hierdoor kan aangenomen worden dat bijkomend staalschroot (bovenop het gedeelte dat reeds als schroot in de consumptiemix aanwezig was) dat wordt aangeboden steeds een toepassing zal vinden. Eventuele legeringselementen kunnen hierbij wel of niet functioneel worden gerecycleerd, waardoor zowel 'closed metal loop' als 'closed alloy loop' recyclage mogelijk is. In de net-scrap-aanpak gaan we er bijgevolg van uit dat enkel het staalschroot dat bovenop de recycled content van de consumptiemix (nl. 37%) wordt gegenereerd, primair staal, nl. laaggelegeerd BOF-staal, vervangt. Totdat deze grenswaarde bereikt is, wordt enkel het milieuvoordeel van secundair, EA-staal geboekt.

6.2.3.2 Roestvrij staal

Roestvrij staal is een legering waarin ijzer, nikkel, chroom en koolstof de hoofdelementen vormen. Zoals staal, kan ook roestvrij staal via twee hoofdroutes geproduceerd worden, BOF (58%) en EA (42%), waarbij de BOF-route voornamelijk uitgaat van primaire materialen en de EA-route voornamelijk schroot inzet. De legeringselementen chroom en nikkel worden, voor zover ze niet al in het schroot aanwezig zijn, vanuit 'primair' ferrochroom en ferronikkel toegevoegd (naast andere

---

[65] Steel Recycling Institute (2010). The inherent recycled content of today's steel. https://www.silgancontainers.com/uploads/pdfs/inherent_recycled_content_2010.pdf

[66] Yellishetty, M., Mudd, G.M., Ranjith, P.G., Tharumarajah, A. (2011). Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects. Environmental Science & Policy 14: 650-663.

[67] http://www.isri.org/recycling-industry/commodities-specifications/ferrous-scrap#.U2ocofmSygY

inputs in kleine hoeveelheden). Volgens het International Stainless Steel Forum is naar schatting 60% van het roestvrij staal op de markt afkomstig van secundaire bronnen, zowel roestvrij als 'gewoon' staalschroot, zowel vanuit pre-consumer als post-consumer bronnen[68,69]. De gegevens in de EcoInvent 3.0 databank gaan uit van een beperktere recycled content, nl. ca. 20% (42% roestvrij staal wordt via de EA-route gemaakt, waarbij echter enkel het ijzer afkomstig is uit schroot (dat iets meer dan de helft van de inputs uitmaakt) en nikkel en chroom vanuit ertsen worden toegevoegd). Aangezien roestvrij staalschroot gegeerd is op de markt, kunnen we ervan uitgaan dat dit schroot opnieuw in de roestvrij staalproductie wordt ingezet, met behoud van de legeringskwaliteiten ('closed alloy loop'). In de net-scrap-methode betekent dit dat het roestvrij staalschroot dat bij AEEA-recyclage gegenereerd wordt deels secundair EA-roestvrij staal vervangt (nl. tot de grenswaarde van 20% recycled content) en dat al het bijkomende schroot primair roestvrij staal, nl. BOF-staal, vervangt.

6.2.3.3 Aluminium

Er bestaan twee hoofdtypes van aluminiumlegeringen, nl. 'wrought' en 'cast'. *Cast aluminium* bevat tot 20% silicium en andere toevoegingen, terwijl dit gehalte in *wrought aluminium* veel lager ligt. Cast aluminium wordt gebruikt bij het gieten van vormstukken en wordt voornamelijk toegepast in motoren en versnellingskasten van voertuigen. Wrought aluminium wordt gebruikt in plaatmateriaal en profielen en zal bijgevolg de overheersende vorm van aluminium in EEA uitmaken. Hoewel aluminium in principe volledig recycleerbaar is, is er in de praktijk toch een beperking. De inzet van gerecycleerd aluminium in de productie van wrought aluminium kan slechts onder zeer strikte voorwaarden ten gevolge van de strikte zuiverheidseisen. Zo kan cast aluminium door zijn hoge gehalte aan toeslagstoffen niet gebruikt worden, evenmin als mengsels van verschillende wrought legeringen of wrought materiaal met veel onzuiverheden. In de praktijk betekent dit dat in de productie van wrought aluminium voornamelijk intern productieschroot wordt gebruikt, in afwachting van betere scheidingstechnieken voor aluminium. Volgens EcoInvent 3.0 bevat de marktmix van wrought aluminium 15% schroot. Post-consumer aluminium gaat steeds naar de productie van cast aluminium. Hoewel Frees (2008)[70] argumenteert dat de vraag naar aluminium schroot het aanbod overtreft, houdt Peck (2003)[71] rekening met het scenario dat de markt voor cast aluminium verzadigd zou kunnen raken. Hierdoor zou enerzijds de vraag naar aluminiumschroot verminderen, maar anderzijds zou een incentive kunnen ontstaan om de sorteertechnieken voor aluminium zodanig te verbeteren dat wrought scrap opnieuw zou kunnen worden ingezet in wrought productie, waardoor de vraag dan weer zou worden aangewakkerd. Over de uitkomst van deze tegengestelde krachten zegt hij het volgende : "*It is perhaps most likely that these somewhat conflicting views indicate that the market will simply continue to cater for the scrap quantities and qualities as they grow and change in form and a dynamic equilibrium will be achieved*." Ook voor

---

[68] Fujii, H., Nagaiwa, T (2005). How to quantify the environmental profile of stainless steel. SETAC.

[69] ISSF. http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html

[70] Frees, N. (2008) Crediting aluminium recycling in LCA by demand or by disposal. Int J LCA 13 (3) 212-218.

[71] Peck, P. (2003). Interest in Material Cycle Closure? Exploring evolution of industry's responses to highgrade recycling from an Industrial Ecology perspective. Volume II – Case Studies. Doctoral dissertation. Lund University.

aluminium kunnen we er dus vanuit gaan dat bijkomend schroot uit recyclage (bovenop de 15% recycled content) primair aluminium vervangt.

6.2.3.4 Koper

Kopererts (typisch 20-30% Cu) komt op veel plaatsen in de wereld voor. Door smelten en zuiveren kan een puur kopermetaal met een zuiverheid van 98,5-99,5% bekomen worden. Ca. 35% (volgens EcoInvent 3.0) van het koper op de markt is afkomstig uit secundaire bronnen, zoals kabels (23%), koperschroot, en AEEA en wordt vaak samen met primair koper verwerkt (zie ook 4.1.5 en Figuur 11). Bijkomend koperschroot uit recyclage (bovenop de 35% recycled content) vervangt (de gemiddelde) primaire koperproductie. Om de milieu-impact van primaire koperproductie te bepalen, werd de consumptiemix uit EcoInvent herrekend op basis van enkel het aandeel primaire productie.

6.2.3.5 Edelmetalen en speciale metalen

Edelmetalen en speciale metalen zijn in kleine hoeveelheden aanwezig in AEEA en bevinden zich op de printplaten. De recyclage van deze metalen uit printplaten door geïntegreerde smelters is een zeer relevante grondstofbron, aangezien de metaalconcentratie in de huidige AEEA soms een factor hoger ligt dan in de ertsen die momenteel commercieel ontgonnen worden[72]. Onderstaande tabel geeft de recycled content aan van enkele edel- en speciale metalen. Voor goud en de niet-vermelde metalen wordt geen significante recycled content verondersteld. Aangezien de secundaire raffinage van printplaten zeer zuivere metalen oplevert, met behoud van de volledige functionaliteit en gezien de groeiende vraag naar deze metalen, kunnen we veronderstellen dat de productie van bijkomend recyclaat primaire ontginning vermijdt. Om de milieu-impact van de primaire metalen te bepalen, werd de consumptiemix uit EcoInvent aangepast en herrekend.

Tabel 30: Recycled content van enkele speciale en edelmetalen

Metaal	Aandeel recycled content (bron: EcoInvent 3.0)	Bronnen van gerecycleerd materiaal
Goud (Au)	Verwaarloosbaar (0,068%)	AEEA
Nikkel (Ni)	3,5%	AEEA
Palladium (Pd)	68%	AEEA (64%) Katalysatoren (4%)
Zilver (Ag)	34%	AEEA

6.2.3.6 Plastics

EcoInvent 3.0 gaat voor kunststoffen uit van volledig primaire productie. Hoewel sommige polymeren al succesvol kunnen worden gerecycleerd en opnieuw ingezet als grondstof, is de markt

[72] USGS Fact Sheet FS-060-01. http://pubs.usgs.gov/fs/fs060-01/fs060-01.pdf

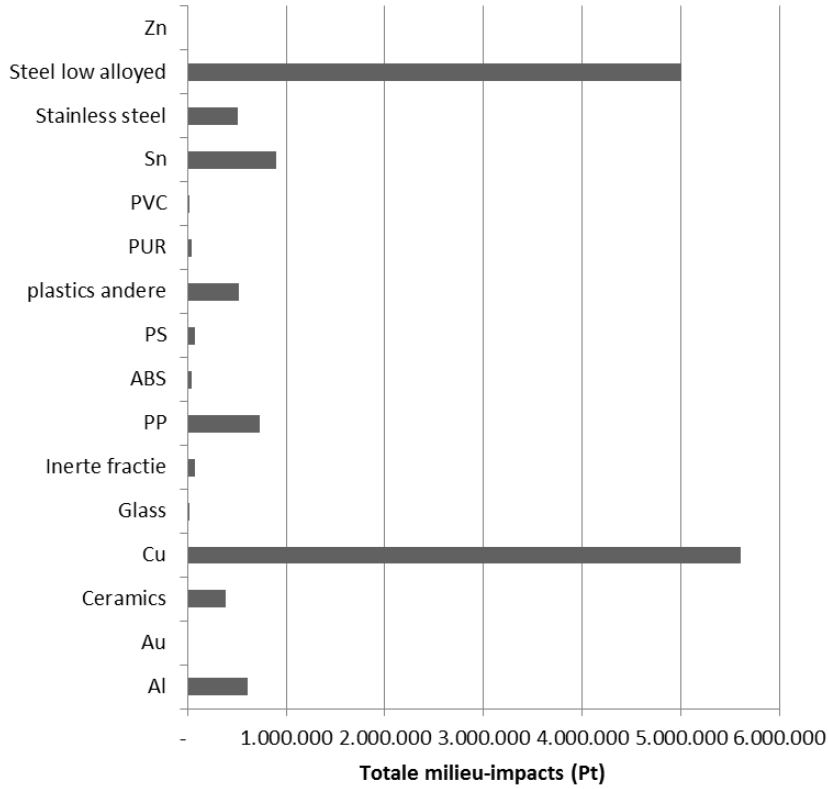
voor deze recyclaten nog zeer pril. Voor alle kunststoffen nemen we bijgevolg aan dat door recyclage primaire kunststofproductie wordt vermeden.

6.2.3.7 Glas en inerte materialen

LCD-glas bestaat uit een wafelstructuur van glas en liquid crystals. Het verliest bijgevolg zijn functionele structuur door mechanische verkleining. LCD glas en wit glas komen deels terecht in zeefdoorval en deels in een minerale restfractie samen met betonfragmenten. Momenteel is het technisch nog niet mogelijk om deze glasfragmenten voldoende zuiver uit deze fractie af te scheiden opdat ze opnieuw geschikt zouden zijn om in de glasindustrie te worden ingezet. Beide restfracties worden momenteel wel als bouwmateriaal ingezet. Het betreft hier dus 'open loop'-recycling, waarbij de recyclaten niet meer dezelfde functionaliteit bezitten als de oorspronkelijke grondstoffen glas en beton, maar slechts deze van bouwzand. De vermeden milieu-impacts door recyclage van de minerale restfractie zijn dus terug te brengen tot vermeden zandwinning.

6.2.4 Milieu-impacts verbonden aan groot witgoed

In totaal wordt er ***25.313 ton*** vrijgekomen groot witgoed ingezameld voor verwerking. De milieu-impact verbonden aan de samenstellende materialen in vrijkomend Vlaams groot witgoed met gekende verwerkingsroute bedraagt **13.970.000 Pt**. De verdeling van de milieu-impact over de samenstellende materialen is weergegeven in Figuur 26. Hierbij werd eveneens rekening gehouden met het aandeel aan gerecycleerde materialen (metalen) dat momenteel reeds aanwezig is in de gemiddelde mix op de markt, waardoor de gemiddelde milieu-impact van deze materialen vermindert. Materialen waarvan de totale milieu-impact minder dan 1.000 Pt bedraagt, zijn niet opgenomen. Laaggelegeerd staal en koper maken samen reeds 73% uit van de milieu-impact van groot wit. Edelmetalen en speciale metalen maken, door hun geringe gewichtsaandeel, minder dan 0,2% uit van de milieu-impact van groot witgoed. Tin vormt hierop een uitzondering en maakt door zijn significante gewichtsaandeel (470 g/ton) en hoge milieu-impact (72.000 Pt/ton) 6% van de milieu-impact van groot witgoed uit.



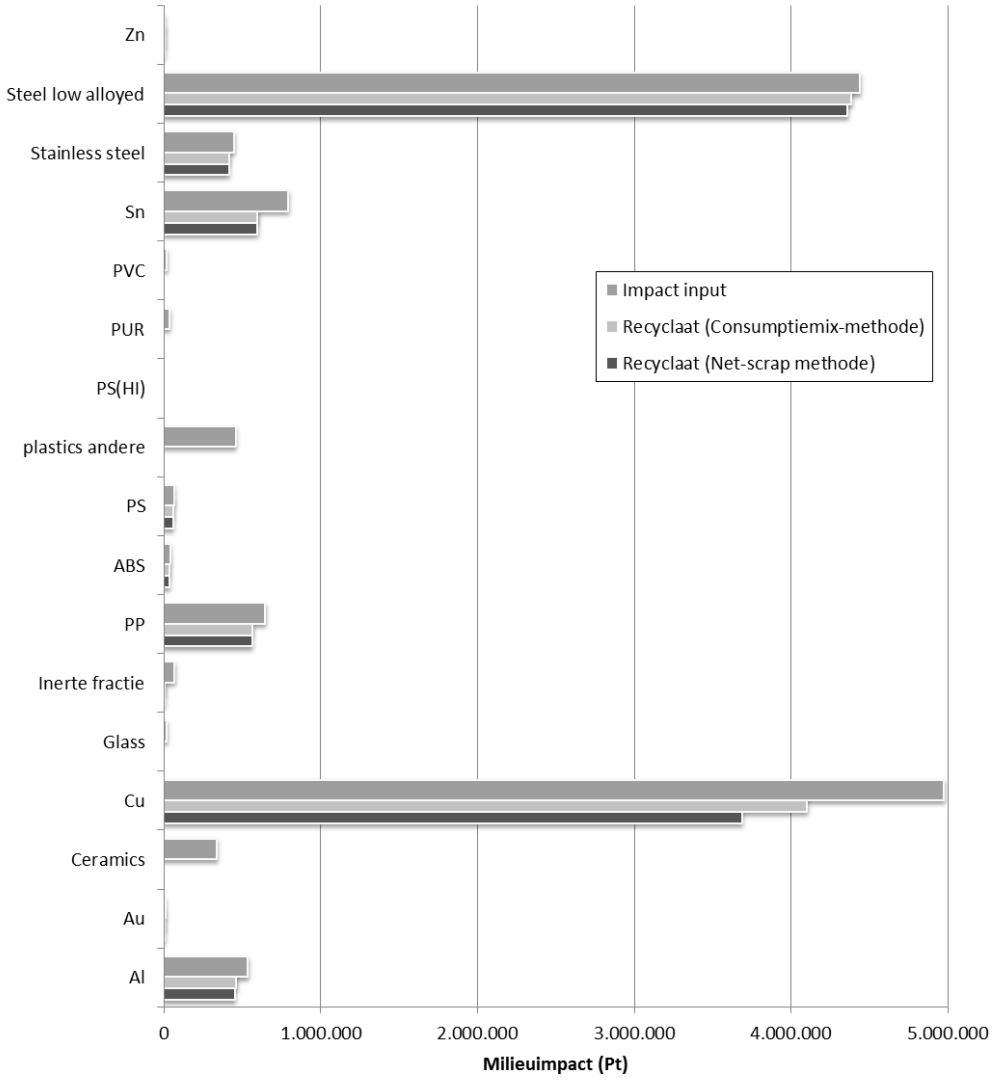
Figuur 26: Milieu-impact geassocieerd met het vrijkomend Vlaams witgoed met gekende verwerkingsroute

Voor het gedeelte van het vrijkomende groot witgoed dat naar hergebruik gaat, wordt een volledige functionele materiaalrecuperatie verondersteld, met volledige terugwinning van de geassocieerde milieu-impacts. Bij hergebruik worden naast de samenstellende materialen echter eveneens de functionaliteiten van het toestel gevrijwaard, waardoor ook de milieu-impacts gerelateerd aan de productie van de componenten en de assemblage van het toestel worden behouden (terwijl deze bij recyclage verloren gaan). Het exact bepalen van de milieuvoordelen van hergebruik is echter niet de focus van deze studie, waardoor hier verder niet op wordt ingegaan.

Het volume groot witgoed dat gerecycleerd wordt bedraagt **23.403 ton**, met een milieu-impact van **12.920.000 Pt** of **552 Pt/ton**. Dit cijfer geeft de maximale milieu-impact weer die kan gerecupereerd worden door materiaalrecyclage. Echter, in de praktijk worden deze impacts nooit volledig teruggewonnen door recyclage. De verliezen zijn toe te schrijven aan:

- het niet (volledig) recupereren van materialen, omdat een materiaal niet selectief wordt afgescheiden in de huidige mechanische sortering of omdat het terecht komt als onzuiverheid in andere fracties (bvb. gemengde plasticfracties);
- beperkingen wat betreft het toepassingsgebied, waardoor de functionaliteit van het materiaal niet meer ten volle kan benut worden (bvb. beton en glas komen terecht in een gemengde, inerte fractie die niet meer geschikt is als grondstof in de beton- of glasindustrie, maar die in de plaats daarvan ingezet wordt als afdek- of bouwmateriaal (waar het in theorie zand vervangt));
- de niet-materiaal inzet van resulterende fracties, bvb. als brandstof of als reductans (bvb. plastics als cokes vervanger in staalindustrie);

Indien de outputfracties na materiaalrecyclage niet meer dezelfde functionaliteit bezitten om opnieuw te kunnen worden toegepast in hun oorspronkelijke toepassing, kan men geen substitutie van het overeenkomstig oorspronkelijk materiaal veronderstellen. In dergelijke gevallen moet worden gekeken naar welk (ander) materiaal in realiteit kan worden vervangen (bvb. gerecycleerd glas/beton vervangt bouwzand).



Figuur 27: Vermeden milieu-impacts dankzij recyclage t.o.v. de originele milieu-impacts (Groot witgoed)

Figuur 27 toont de vermeden milieu-impacts ten gevolge van de materiaalrecyclage van het aanbod groot witgoed in Vlaanderen op 2 verschillende manieren, nl. volgens de consumptiemix-methode en de net-scrap methode (zie hoger). Voor beide methodes zijn de vermeden milieu-impacts voornamelijk toe te schrijven aan de recyclage van bulkmetalen, zoals laaggelegeerd staal, koper, roestvrij staal en aluminium en aan polypropyleen. De milieu-impacts vanwege tin (Sn) zijn eveneens opvallend en voornamelijk te wijten aan de hoge milieu-impact van de productie van primair tin. Gebruik makende van de **consumptie-mix-methode** kan de totaal vermeden milieu-impact begroot worden op 10.640.000 Pt, ofwel 82% van de oorspronkelijk aanwezige milieu-impacts. Volgens de

net-scrap methode worden de totaal uitgespaarde milieu-impacts geschat op 10.190.000 Pt, wat 79% van de oorspronkelijk aanwezige impacts vertegenwoordigt. Voor de materialen waarbij in de consumptiemix geen gerecycleerd aandeel werd verondersteld, zijn de uitgespaarde impacts identiek voor beide rekenmethodes. Indien er wel een gerecycleerd aandeel in de consumptiemix zit, geeft de net-scrap methode een lagere uitgespaarde milieu-impact. Er worden immers pas volledige (primaire) milieuboni toegekend voor het aandeel recyclaat dat bovenop de al aanwezige gerecycleerde inhoud wordt gerecupereerd, terwijl bij de consumptiemix-methode steeds met een gemiddelde impact wordt gewerkt. Het verschil tussen beide berekeningsmethodes wordt vooral duidelijk bij materialen die reeds een hoog percentage gerecycleerde inhoud bevatten in de huidige consumptiemix én waarbij de recyclage-efficiëntie slechts matig is, zoals bij koper (35% recycled content, recyclage-efficiëntie van 82%) en zilver (34% recycled content, 38% recyclage-efficiëntie). Bij palladium (68% recycled content, 39% recyclage-efficiëntie) wordt zelfs minder palladium gerecycleerd dan er oorspronkelijk aan recycled content aanwezig was, wat resulteert in een netto milieu-impact (verlies) van - 610 Pt volgens de net-scrap methode, in vergelijking met een milieuwinst van 280 Pt volgens de consumptiemixmethode. In onze studie is palladium het enige element waarvoor de recyclage-efficiëntie (in geval van groot wit) lager bleek dan de reeds aanwezige recycled content in de consumptiemix.

Op welke manier kan er dan een hogere milieu-impact teruggewonnen worden uit het recyclagesysteem van Vlaams groot witgoed?

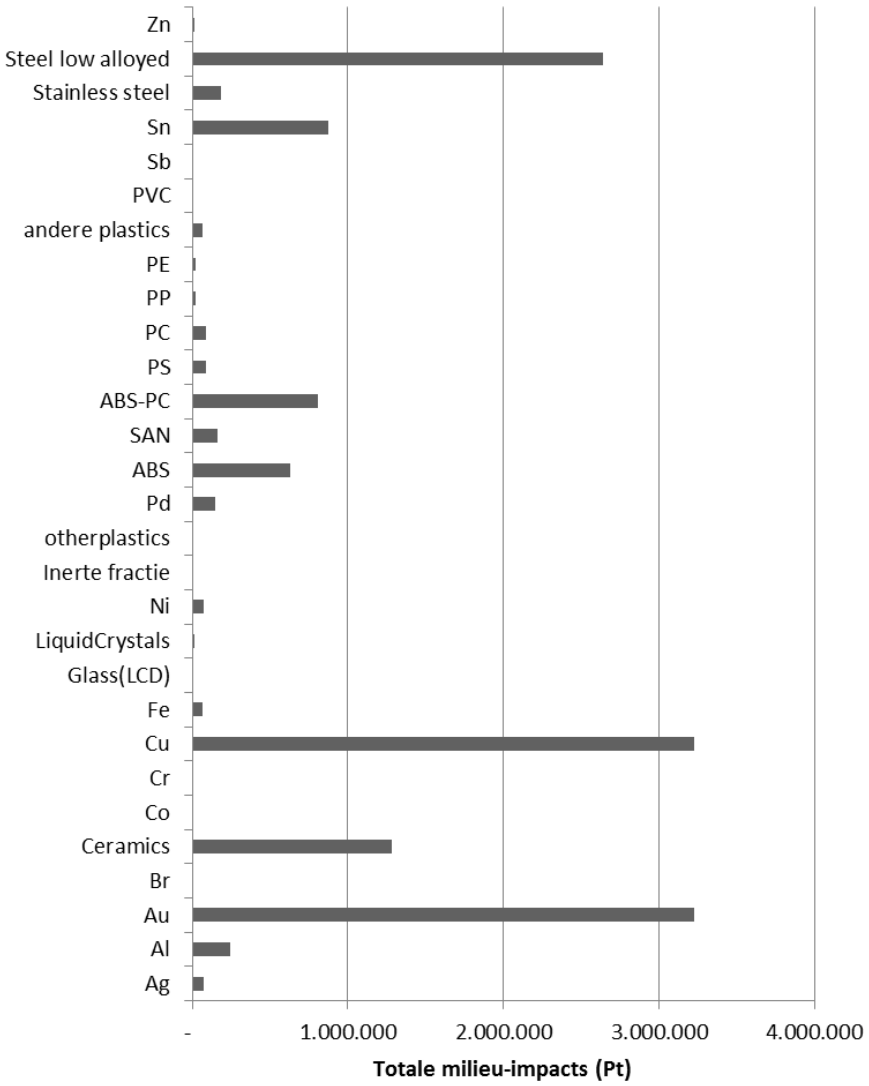
- ***Het ingezamelde volume Vlaams groot witgoed wordt nagenoeg volledig verwerkt of hergebruikt, zodat dit vlak weinig verbetering mogelijk is.***
- ***Een nog meer volledige recuperatie van bulkmetalen, zoals laag gelegeerd staal, roestvrij staal en aluminium lijkt geen tot beperkte groeikansen te bieden, ook niet wat het toepassingsgebied betreft. De recyclage van koper biedt wel nog potentieel tot verbetering. Koper wordt relatief laat in de procesketen afgescheiden, waardoor ca. 11% van het koper verloren gaat als onzuiverheid in andere fracties doorheen de procesketen, met name in de motoren-fractie (6%), ferro-fractie (2%), plastic-fractie (2%) en de non-ferro-fracties (1%). Daarnaast ligt de sorteerefficiëntie van de processtappen ('yield') voor koper momenteel rond de 85%, waardoor 7% van het koper uiteindelijk in de minerale fractie terecht komt. Met aangepaste scheidingstechnologieën en/of productdesign voor een betere scheiding van koperen kabels en koper uit elektromotoren kunnen de belangrijkste verliesposten aangepakt worden.***
- ***Het aandeel van edelmetalen in de milieu-impact van groot witgoed is zeer beperkt door hun erg lage gewichtsaandeel. Echter, door de mechanische verkleining van printplaten gaat >60% van de edelmetalen verloren in het proces. Een mildere verkleiningsmethode of manuele ontmanteling van printplaten kan deze verliezen sterk beperken.***
- ***Naast koper, vormen niet gerecycleerde plastics (nl. 'andere plastics') de belangrijkste verliespost van het recyclagesysteem voor groot witgoed. Kanttekening hierbij is dat een deel van deze plastics brandvertragers bevatten, waarvan sommige intussen niet meer toegelaten zijn. Vanuit dit oogpunt kan het bijgevolg toch aangewezen zijn om deze ongewenste plastics definitief uit de materialenkringloop te verwijderen door ze te verbranden. Overigens kan via energierecuperatie uit afvalverbranding eveneens een (beperkte) milieuwinst gehaald worden. Keramische materialen vormen eveneens een grote verliespost van milieu-impacts. Dit***

resultaat moet echter voorzichtig benaderd worden, aangezien uit de massabalans niet met zekerheid kon worden afgeleid of het hier daadwerkelijk allemaal piezo-elektische keramiek betreft. Bovendien werd door gebrek aan EcoInventdata een andere databank gebruikt voor de kwantificering van de milieu-impacts, waardoor de vergelijkbaarheid met de andere gegevens niet gegarandeerd is.

'Quick wins' betreffende de recuperatie van milieu-impacts liggen dus niet voor de hand. Optimalisatie van het End-of-Life systeem voor groot witgoed betreft voornamelijk maatregelen om recyclage zoveel mogelijk uit te stellen door hergebruik en langer gebruik van apparaten en componenten (design for remanufacturing and repair).

6.2.5 Milieu-impacts verbonden aan OVE-IT

In totaal wordt er ***12.795 ton*** vrijgekomen overig IT ingezameld voor recyclage, hergebruik of verbranding. De milieu-impact verbonden aan de samenstellende materialen in vrijkomend Vlaams groot witgoed met gekende verwerkingsroute bedraagt **13.965.000 Pt**. De verdeling van de milieu-impact over de samenstellende materialen is weergegeven in Figuur 28, waarbij eveneens rekening werd gehouden met het aandeel aan gerecycleerde materialen (metalen) dat momenteel reeds aanwezig is. Materialen waarvan de totale milieu-impact minder dan 1.000 Pt bedraagt, zijn niet opgenomen. In het geval van OVE-IT zijn de milieu-impacts voornamelijk te wijten aan goud (23%), koper (23%), laaggelegeerd staal (19%), de verschillende polymeren (13%), piezoelektrische keramische materialen (9%) en tin (6%).

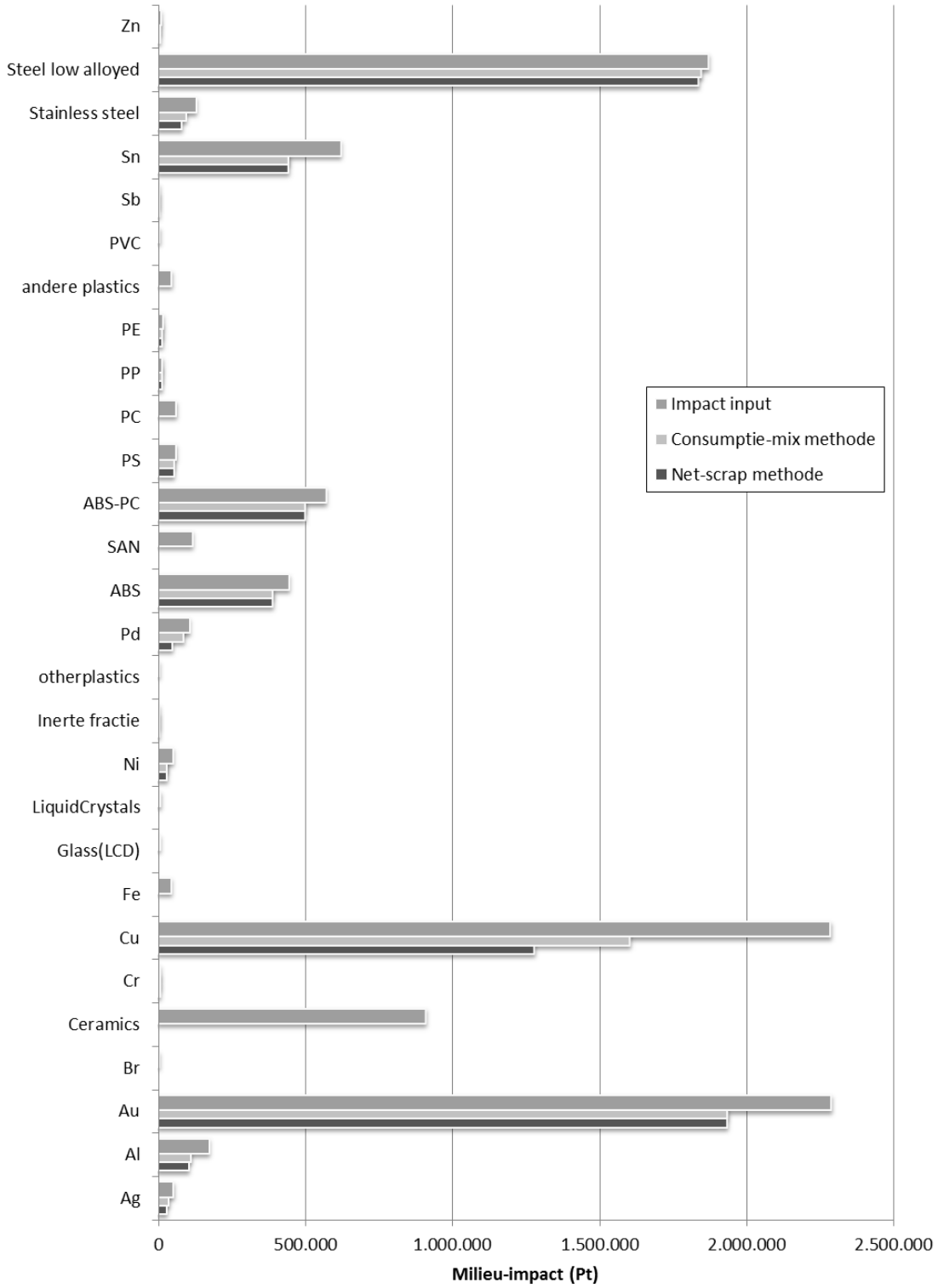


Figuur 28: Milieu-impact geassocieerd met het vrijkomend Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute

Voor het gedeelte van het vrijkomende overig IT dat naar hergebruik gaat, werd een volledige functionele materiaalrecuperatie verondersteld, met volledige terugwinning van de geassocieerde milieu-impacts van de materialen (**1092 Pt/ton**). Echter, bij hergebruik worden naast de samenstellende materialen eveneens de functionaliteiten van het toestel gevrijwaard, waardoor ook de milieu-impacts gerelateerd aan de productie van de componenten en de assemblage van het toestel worden behouden (terwijl deze bij recyclage verloren gaan). Voor de productie van een desktop-PC (zonder scherm), met een gewicht van 11,3 kg bedraagt de volledige milieu-impact 53,4 Pt, ofwel 4.725 Pt/ton, wat een 4-voud is van de gemiddelde materiaalimpact van overig IT. Voor een laptop-PC is dit zelfs 9.810 Pt/ton. Hergebruik en langer gebruik van toestellen en componenten kan potentieel dus een veelvoud van de milieuvoordelen opleveren in vergelijking met louter materiaalrecyclage. Het exact bepalen van de milieuvoordelen van hergebruik is echter niet de focus van deze studie, waardoor hier verder niet op wordt ingegaan.

Van het overig IT dat in het restafval terecht komt, gaan de geassocieerde milieu-impacts verloren (milieuvoordelen ten gevolge van energierecuperatie worden in deze studie immers niet meegenomen).

Het volume overig IT dat gerecycleerd wordt met het oog op materiaalrecyclage bedraagt **9.070 ton**, met een oorspronkelijke milieu-impact van **9.900.000 Pt**. De impact per ton ligt bij overig IT bijna 2x zo hoog als bij groot wit. Dit is voornamelijk terug te brengen tot een hoger gehalte aan printplaten (die goud, palladium, keramische materialen,… bevatten waarvan de milieu-impact hoog is) en een hoog gehalte aan engineering plastics, zoals ABS, SAN en ABS-PC. Dit cijfer geeft tevens de maximale milieu-impact weer die kan gerecupereerd worden door materiaalrecyclage, waarbij dezelfde verliesposten gelden als vermeld bij de recyclage van groot wit.



Figuur 29: Vermeden milieu-impacts dankzij recyclage t.o.v. de originele milieu-impacts (OVE-IT)

De vermeden milieu-impacts ten gevolge van de materiaalrecyclage van het aanbod overig IT in Vlaanderen worden grafisch weergegeven in Figuur 29. In beide berekeningsmethoden voor

vermeden milieu-impacts zijn de vermeden milieu-impacts voornamelijk toe te schrijven aan de recyclage van laaggelegeerd staal, koper, goud en ABS-gebaseerde polymeren. De milieu-impacts vanwege tin (Sn) zijn eveneens opvallend (zie eveneens 6.2.4). Gebruik makende van de **consumptie-mix-methode** kan de totaal vermeden milieu-impact begroot worden op 7.170.000 Pt, ofwel 72% van de oorspronkelijk aanwezige milieu-impacts. Volgens de **net-scrap methode** worden de totaal uitgespaarde milieu-impacts geschat op 6.780.000 Pt, wat 68% van de oorspronkelijk aanwezige impacts vertegenwoordigt. Het verschil tussen beide berekeningsmethodes is met name aanzienlijk bij koper (35% recycled content, recyclage-efficiëntie van 70%) en palladium (68% recycled content, 82% recyclage-efficiëntie). De recyclage-efficiënties van edelmetalen liggen bij overig IT significant hoger dan bij groot wit, dankzij de manuele demontage van printplaten bij het begin van het recyclageproces.

Op welke manier kan er een hogere milieu-impact teruggewonnen worden uit het End-of-Life systeem van Vlaams overig IT?

- ***Er belandde naar schatting voor ongeveer acht miljoen euro aan materialen in overig IT in de restafvalzak. Indien dit volume zou worden aangeboden voor materiaalrecyclage, zou hieruit (afhankelijk van de gebruikte rekenmethode) in nog 2,5 tot 2,6 miljoen Pt milieu-impact kunnen gerecupereerd worden.***
- ***Een nog meer volledige recuperatie van bulkmetalen, zoals laag gelegeerd staal, roestvrij staal en aluminium biedt slechts beperkte groeikansen. De recyclage van koper biedt wel nog potentieel tot verbetering. Koper wordt relatief laat in de procesketen afgescheiden, waardoor ca. 20% van het koper verloren gaat als onzuiverheid in andere fracties doorheen de procesketen, met name in de plastic-fractie (17%) en de ferro-fractie (2%). Daarnaast ligt de sorteerefficiëntie van de processtappen ('yield') voor koper momenteel rond de 85%, waardoor 6% van het koper uiteindelijk in de minerale fractie terecht komt.***
- ***In tegenstelling tot wat het geval was bij groot witgoed, is de milieu-impact van edelmetalen in overig IT zeer belangrijk, met name die van goud. Manuele demontage van printplaten uit sommige IT-apparaten voorkomt reeds gedeeltelijk dat edelmetalen verloren gaan ten gevolge van de mechanische verkleining. Bijkomende demontage van kopieerapparaten en bureaumateriaal kan dit verlies nog verder beperken, doch gezien het relatief lager gehalte aan edelmetalen in de printplaten van deze apparaten, zullen de economische kosten dan moeten worden afgewogen tegen de economische en milieubaten.***
- ***Naast koper, vormen keramische materialen een grote verliespost van milieu-impacts. Dit resultaat moet echter voorzichtig benaderd worden, aangezien uit de massabalans niet met zekerheid kon worden afgeleid of het hier daadwerkelijk allemaal piezo-elektische keramiek betreft. Bovendien werd door gebrek aan EcoInventdata een andere databank gebruikt voor de kwantificering van de milieu-impacts, waardoor de vergelijkbaarheid met de andere gegevens niet gegarandeerd is.***
- ***Op vlak van recyclage van plastics kunnen eveneens nog milieuwinsten worden geboekt indien meer types plastics kunnen afgescheiden worden. Kanttekening hierbij is dat een deel van deze plastics brandvertragers bevatten, waarvan sommige intussen niet meer toegelaten zijn. Vanuit dit oogpunt kan het bijgevolg toch aangewezen zijn om deze ongewenste plastics definitief uit de materialenkringloop te verwijderen door ze te verbranden. Overigens kan via energierecuperatie uit afvalverbranding eveneens een (beperkte) milieuwinst gehaald worden.***

6.3 Kriticiteit

6.3.1 Bepalen van de kriticiteit van grondstoffen en materialen

In het kader van het Europese 'Raw materials Initiative' werd de kriticiteit onderzocht van 41 mineralen en metalen, die als strategisch worden beschouwd voor de Europese economie. In 2010 publiceerde de daartoe opgerichte werkgroep de resultaten van dit onderzoek, dat op pragmatische wijze waarden toekende aan het bevoorradingsrisico en de impact op de economie van elk van de 41 mineralen en metalen[73]. In een Europese context verdient het uiteraard aanbeveling om recyclage-inspanningen te richten op die materialen met een hoger risico op bevoorradingsschaarste.

Tal van factoren beïnvloeden het risico op bevoorradingsschaarste. Bovendien is dergelijke schaarste dynamisch in de tijd. Er bestaan dan ook tal van kwalitatieve en/of kwantitatieve methodes om voor een bepaalde geografische regio de bevoorradingsschaarste van economisch relevante elementen of elementgroepen te bepalen.

Een voorbeeld van dergelijke methode is de 'risk list' van de British Geological Survey[74], laatst geüpdatet in 2012, die 41 elementen en elementgroepen rangschikt naargelang de geologische schaarste, concentratie van de productie, spreiding van de reserves, recyclagegraad en politieke stabiliteit van zowel de belangrijkste producerende natie als die van het land met de meeste reserves.

In het kader van het Raw Materials initiative werd het label 'critical' gegeven aan grondstoffen "als de risico's van het bevoorradingstekort en hun effecten op de economie hoger zijn in vergelijking met de meeste andere grondstoffen" (Europese Commissie, 2010). Vanuit pragmatisch oogpunt werden drie belangrijke aspecten opgenomen om het kritieke karakter van een grondstof vast te stellen: het economisch belang van de onderzochte grondstoffen voor Europa, het bevoorradingsrisico en een milieurisico. Voor de berekening van het bevoorradingsrisico werd rekening gehouden met de politiek-economische stabiliteit van de producerende landen, de mate van concentratie van de productie, de potentiële substitutie en het huidige recyclagepercentage. Geologische beschikbaarheid werd niet beschouwd omdat de tijdshorizon van de studie slechts tien jaar was. Het milieurisico werd gedefinieerd als de mogelijkheid dat milieumaatregelen de toegang tot reserves of het aanbod van grondstoffen zouden kunnen beperken. Dit risico bleek geen significante invloed te hebben op de kriticiteit berekend uit het economisch belang en het bevoorradingsrisico. Daarom wordt deze parameter hier niet verder opgenomen. De resulterende indicatorwaarde voor kriticiteit verandert in de tijd als het bevoorradingsrisico voor de EU en het economisch belang van materialen wijzigt ten gevolge van politieke onrust en technologische ontwikkelingen. Dit betekent dat ook

[73] European Commission (2010). Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Enterprise and Industry Directorate General.
[74] http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/risklist.html

nieuwe materialen kunnen worden toegevoegd aan de huidige lijst, die om de vijf jaar zal worden aangepast.

De hier gebruikte indicator combineert de numerieke waarden berekend door de Ad-hoc Working Group voor het economisch belang en bevoorradingsrisico. Dit houdt in dat alle materialen in AEEA, die niet opgenomen zijn in de niet-limitatieve lijst van kritieke grondstoffen, een indicatorwaarde van nul krijgen. Dit is het geval voor verschillende materialen die relevant zijn in AEEA, zoals cadmium, broom, bismut, arseen, tin en kunststoffen. Het wordt dus impliciet aanvaard dat de huidige en toekomstige kandidaat-kritieke grondstoffen geselecteerd door de ad-hoc werkgroep, de bezorgdheid weerspiegelt die aan de basis ligt van onderliggende Europese strategieën om de toegang tot grondstoffen veilig te stellen. Dit impliceert ook dat geologische schaarste niet in aanmerking wordt genomen, zodat bijvoorbeeld goud niet is opgenomen in de huidige EU-lijst.

De kriticiteitsindicator die hier verder wordt gebruikt, volgt uit het vermenigvuldigen van het economisch belang en het bevoorradingsrisico van de 41 als strategisch voor de Europese economie beschouwde grondstoffen, zoals die berekend werden door de Ad-hoc Working Group[75]. Het resultaat is weergegeven in Tabel 31.

Zoals beschreven onder 2.2 verwijzen de samenstellingsgegevens van AEEA niet altijd naar zuivere grondstoffen of materialen, maar -met het oog op de bruikbaarheid van de gegevens voor analyses- ook naar materiaalgroepen en samengestelde materialen en componenten. Om de kriticiteit te bepalen van samengestelde materialen werd rekening gehouden met hun gehalte aan grondstoffen waarvoor de kriticiteit werd bepaald.

Zo werd voor **roestvrij staal** een verhouding van 17% Cr, 1% Mn, 0,5% Ni en 81,5% Fe aangenomen[76]. Dit komt overeen met de gemiddelde samenstelling van ferritic steel, type 430, dat omwille van de hoge weerstand aan hitte, corrosie en (organische) zuren vaak wordt gebruikt in wasmachines, ovens, afwasmachines, droogkasten en keukenapparatuur.[77] [78]

Voor **wit glas** werd een samenstelling aangenomen van 72% silica, 4% MgO, 1% Al_2O_3[79].

Voor **LCD glas** werd uitgegaan van een samenstelling met SiO_2 (62.48%), Al_2O_3 (16.76%) en Fe_2O_3 (9.41%)[80] en een indiumgehalte van 0,0012%[81].

[75] European Commission (2010). Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Directorate General Enterprise and Industry.
[76] http://www.aisi-stainless.com/Selling-list/430-Stainless-Steel-Composition-430-Stainless-Steel-sopt.html
[77] http://www.metalformingfacts.com/forming-basics/selecting-metal-alloys.html
[78] http://metals.about.com/od/properties/a/Metal-Profile-Ferritic-Stainless.htm
[79] http://web.mit.edu/3.091/www/WittNotes/Notes_7.pdf
[80] Wang, H., Hou, T. (2011). A Study of Elevated Temperatures on the Strength Properties of LCD Glass Powder Cement Mortars, Integrated Waste Management - Volume I, Mr. Sunil Kumar (Ed.)
[81] Forschungsinstitut Edelmetalle und Metallchemie and Institut für Energie- und Umwelttechnik (2011). Metallurgische Rückgewinnung von Indium, Gallium und Germanium aus Elektronikschrott und Entwicklung entsprechender Aufarbeitungsmethoden für die Verwertungsindustrie. Schwäbisch Gmünd & Duisburg.

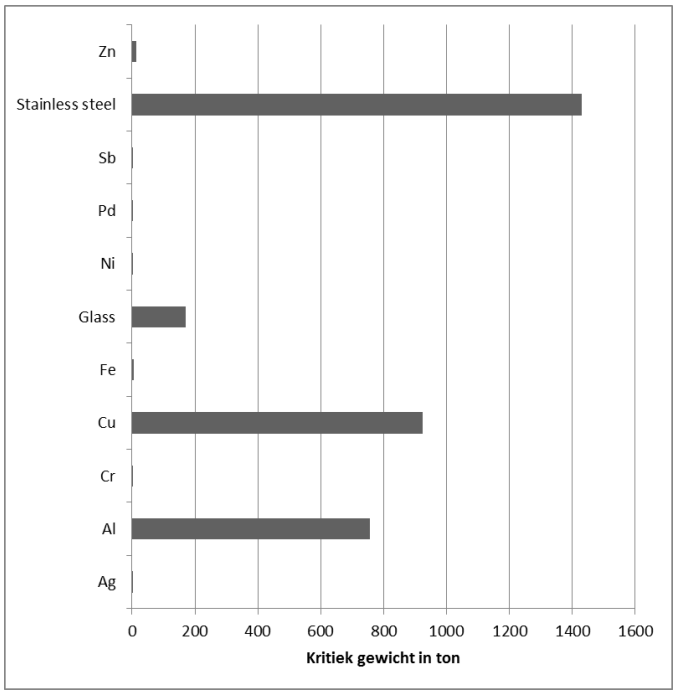
Tabel 31: Lijst met indicatorwaarden voor kriticiteit

Materiaal	Economisch belang	Bevoorradings-risico	Kriticiteit
Pd	6,7	3,6	**24,12**
Sb	5,9	2,5	**14,75**
Be	6,2	1,3	**8,06**
Co	7,2	1,1	**7,92**
Cr	9,9	0,8	**7,92**
Mn	9,8	0,4	**3,92**
Zn	9,4	0,4	**3,76**
Stainless steel	8,2	0,3	**3,41**
Ni	9,5	0,3	**2,85**
Fe	8,2	0,3	**2,46**
Steel low alloyed	8,1	0,3	**2,43**
Glass (white)	4,4	0,2	**0,91**
Glass (LCD)	4,7	0,2	**0,73**
Al (general)	8,9	0,2	**1,78**
Ag	5,1	0,3	**1,53**
Cu	5,7	0,2	**1,14**

Om een analyse mogelijk te maken van de performantie van het recyclagesysteem van AEEA werd voor elk materiaal het oorspronkelijk aanwezige en het gerecycleerde gewicht vermenigvuldigd met de overeenkomstige indicatorwaarde voor kriticiteit. Op deze manier krijgt elk materiaal een '**kritiek gewicht**', dat gelijk is aan nul voor de (samengestelde) materialen die niet opgenomen werden in de lijst van 41 strategische grondstoffen, of dat groter kan zijn dan het eigenlijke gewicht.

6.3.2 Recuperatie van strategische grondstoffen uit groot witgoed

Het '**kritiek gewicht**' van het vrijkomend Vlaams witgoed met gekende verwerkingsroute (**25.313 ton**), bedraagt **36.654 kritieke ton**. De kriticiteit van GW is bijna uitsluitend (91%) te wijten aan het laag gelegeerd staal. De bijdrage van de andere materialen tot het kritisch gewicht is weergegeven in Figuur 30. Roestvrij staal, koper en aluminium liggen aan de basis van zo goed als alle resterende kriticiteit.

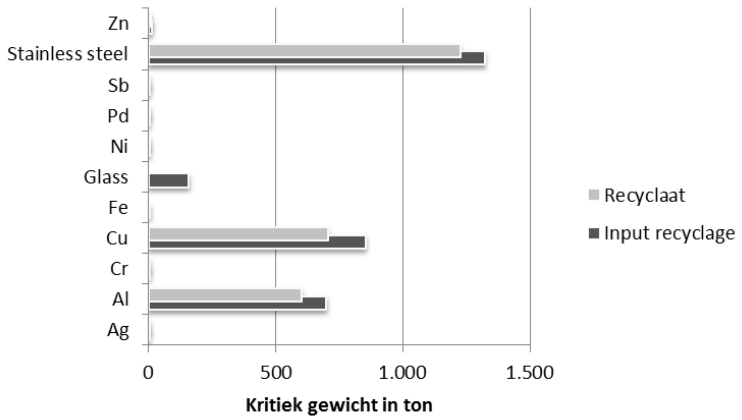


Figuur 30: Kritiek gewicht van Vlaams groot witgoed met gekende verwerkingsroute (excl. laaggelegeerd staal)

Voor het gedeelte van het vrijkomende groot witgoed dat naar **hergebruik** gaat, werd een volledige recuperatie van kritieke materialen verondersteld.

Voor de toepasbare outputfracties van de **materiaalrecyclage** wordt enkel de kriticiteit van het gehalte van het doelmateriaal (of materialen) in de fractie als gerecupereerd beschouwd. Onzuiverheden die geen functionaliteit hebben in de gerecycleerde fractie worden dus niet meegenomen.

Het volume groot witgoed dat verwerkt wordt met het oog op **materiaalrecyclage** bedraagt **23.403 ton** (zie 5.2.1), met een oorspronkelijk kritiek gewicht van **33.888 ton of 1,45 kritieke ton per ton input in het recyclageproces**. Het totale kritiek gewicht van de functioneel toepasbare outputs of recyclaten bedraagt **32.993 ton** (**97%** van het oorspronkelijke kritiek gewicht), en is voor 92% toe te schrijven aan het laaggelegeerd staal. Een en ander is weergegeven in Figuur 31.



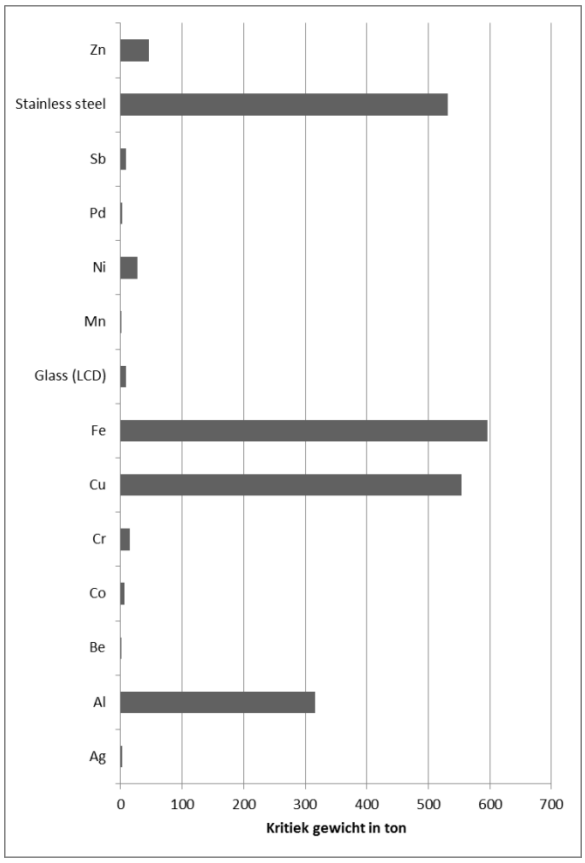
Figuur 31: Kritiek gewicht input recyclagesysteem GW versus kritiek recyclaatgewicht (excl. laaggelegeerd staal)

In het recyclageproces gaat de kriticiteit die vervat zit in het glas (silica) volledig verloren: hoewel een deel van het glas zal terechtkomen in de fractie die toegepast kan worden als bouwmateriaal, kunnen de functionaliteiten van de mineralen en metalen die aangewend werden in de glasproductie niet meer ingezet worden voor de productie van nieuw glas.

Op deze manier kan worden vastgesteld dat de recuperatie van kriticiteit in het recyclagesysteem van groot witgoed nog moeilijk te verbeteren valt. Dit komt omdat de kriticiteit van GW bijna uitsluitend toe te schrijven is aan het laaggelegeerd staal, het belangrijkste materiaal in groot witgoed, waarvoor bovendien de recyclage-efficiëntie maximaal is.

6.3.3 Recuperatie van strategische grondstoffen uit overig IT

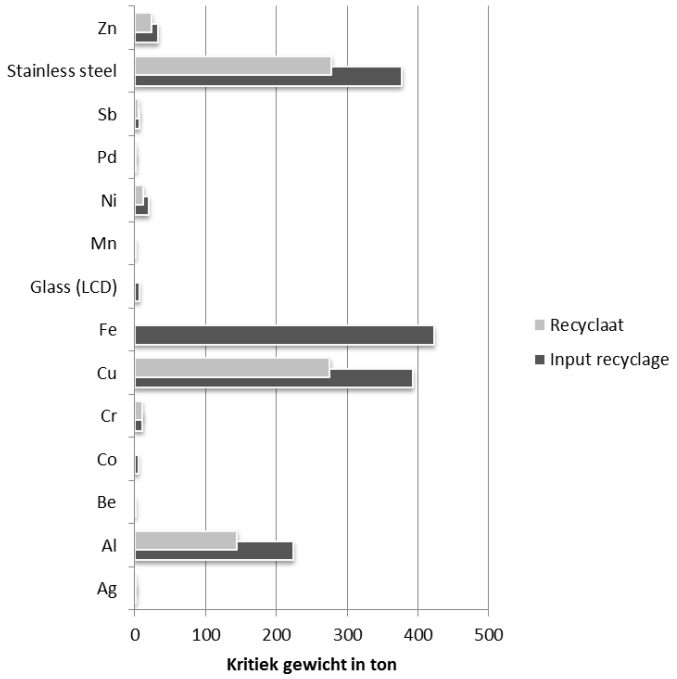
In totaal wordt er ***12.795 ton*** vrijgekomen overig IT ingezameld voor recyclage, hergebruik of verbranding. Het '**kritiek gewicht**' van dit overig IT bedraagt **20.450 ton**. De kriticiteit van OVE IT is, net zoals bij GW, is bijna uitsluitend (90%) te wijten aan het laag gelegeerd staal. De bijdrage van de andere materialen tot het kritisch gewicht is weergegeven in Figuur 32. Ook voor OVE-IT liggen verder koper, roestvrij staal en aluminium aan de basis van zo goed als alle resterende kriticiteit. Andere ijzerhoudende materialen, zink en nikkel dragen eveneens een beetje bij.



Figuur 32: Kritiek gewicht van Vlaams overig IT met gekende verwerkingsroute (excl. laaggelegeerd staal)

Voor het gedeelte van het vrijkomende OVE IT dat naar **hergebruik** gaat, werd een volledige recuperatie van kritische materialen verondersteld. Het volume dat wordt afgevoerd als restafval daarentegen, met een kritiek gewicht van **5.354 ton**, gaat volledig verloren.

Het volume overig IT dat verwerkt wordt met het oog op **materiaalrecyclage** bedraagt **9.070 ton** (zie 5.2.2), met een oorspronkelijk kritiek gewicht van **14.496 ton of 1,60 kritieke ton per ton OVE IT verwerkt in het recyclageproces**, wat opmerkelijk meer is dan het kritiek gewicht per ton GW (zie 6.3.2). Het totale kritiek gewicht van de functioneel toepasbare outputs of recyclaten bedraagt **13.584 ton** (**94%** van het oorspronkelijke kritiek gewicht), en is voor 94% toe te schrijven aan het laaggelegeerd staal. Een en ander is weergegeven in Figuur 33.



Figuur 33: Kritiek gewicht input recyclagesysteem OVE IT versus kritiek recyclaatgewicht (excl. laaggelegeerd staal)

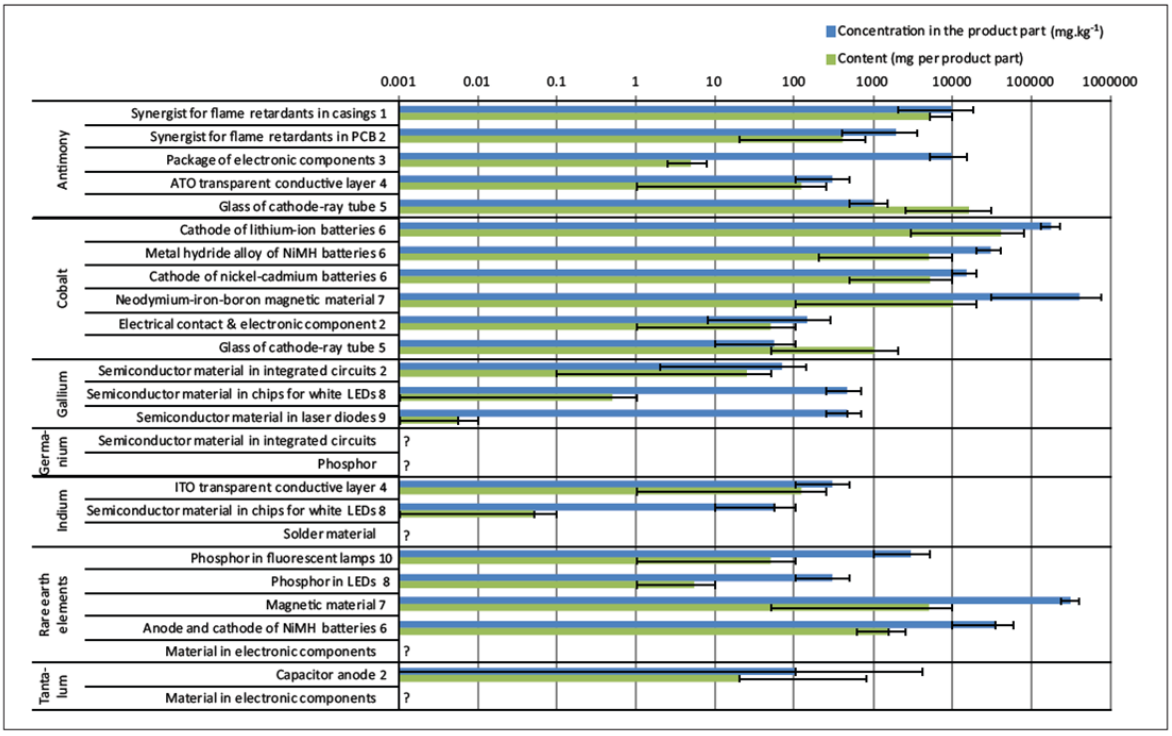
Uit Figuur 33 blijkt dat redelijk wat kritiek gewicht verloren gaat als andere ijzer- of staallegeringen (Fe). Een deel van dit verlies is te wijten aan het feit dat ijzer dat met de printplaatfractie wordt afgevoerd naar geïntegreerde kopersmelter, uiteindelijk met de slakfractie verloren gaat. Het is niet duidelijk wat de oorsprong en bestemming van de rest van de Fe-fractie is. De hoeveelheid LCD glas in OVE-IT is zeer beperkt, omdat niet-beeldbuis televisies en monitoren in de categorie TVM ingedeeld worden. In de volumes gerapporteerd onder de Recupel inzamelcategorie 3a daarentegen zijn deze LCD-schermen echter wel meegeteld (zie 3.3), zodat de feitelijke bijdrage van LCD glas aan de kriticiteit van het volume 3a wellicht hoger ligt.

Net als voor groot witgoed kan ook voor de categorie overig IT worden vastgesteld dat de recuperatie van kriticiteit in het recyclagesysteem nog moeilijk te verbeteren valt. Dit komt omdat ook de kriticiteit van OVE IT bijna uitsluitend toe te schrijven is aan het laaggelegeerd staal, het belangrijkste materiaal in overig IT dat opgenomen is in de lijst van 41 strategische grondstoffen waarvoor de het economisch belang en het bevoorradingsrisico bepaald werden. De recyclage-efficiëntie van laaggelegeerd staal is bovendien maximaal. OVE-IT bevat ongeveer 30% plastics, maar deze krijgen geen kriticiteit toegekend.

6.3.4 Recyclage van kritieke metalen en zeldzame aarden uit AEEA

6.3.4.1 Kritieke metalen en zeldzame aarden in AEEA

Kritieke materialen in AEEA omvatten germanium, gallium, indium, tantalium, kobalt, tin, antimoon, en zeldzame aarden. Voor elk van deze elementen werden zowel de concentraties als de gehaltes in specifieke onderdelen van EEA bepaald (Figuur 34, Chancerel et al., 2013)[82].



Product parts considered to estimate concentration and content: 1—plastic casing; 2—printed circuit board; 3—electronic component; 4— liquid crystal display panel; 5—glass of cathode ray tube; 6—battery; 7—magnet; 8—light-emitting diode (LED); 9—diode; 10—cold-cathode fluorescent lamp. ATO: antimony–tin–oxide; NiMH: nickel–metal hydride; ITO: indium–tin–oxide.

Figuur 34: Concentraties en gehalten kritieke materialen in EEA-onderdelen, met logaritmische schaal [82]

Voor groot witgoed lijkt antimoon het meest relevante kritieke materiaal. Antimoon komt voor als synergistische vlamvertrager in printplaten, bijvoorbeeld in de omhulsels van condensatoren, kabelisolatie, en omkastingen. Groot witgoed bevat echter minder dan 1 gram per ton aan antimoon, wat overeenkomt met een marktwaarde van minder dan 1 eurocent per ton. Het gebruik van antimoon als synergetisch vlamvertrager is bovendien nog dalend[82].

[82] Chancerel, P, Rotter, V.S., Ueberschaar, M., Marwede, M., Nissen, N.F., Lang, K.D. (2013). Data availability and the need for research to localize, quantify and recycle critical metals in information technology, telecommunication and consumer equipment. Waste Manag Res. 2013 Oct;31(10 Suppl):3-16. doi: 10.1177/0734242X13499814

Kobalt is vooral terug te vinden in batterijen, indium in de ITO-laag van flatscreens. Voor de in deze studie bestudeerde AEEA categorieën bevatten printplaten en magneten de hoogste concentraties en gehalten aan kritieke materialen.

Tabel 32: Toepassingen van kritieke materialen in EEA[83]

Element	Li-ion Batteries	Magnets	Printed circuit boards	Capacitors	LCD Monitors	Compact fluorescent lamps	LED
Silver			X				
Cerium						X	
Cobalt	X						
Dysprosium		X					
Europium						X	
Gadolinium						X	
Gallium			X				X
Germanium							X
Indium					X		
Lanthanum						X	
Lithium	X						
Neodymium		X					
Palladium			X				
Platinum			X				
Praseodymium		X					
Tantalum				X			
Terbium		X				X	
Yttrium						X	

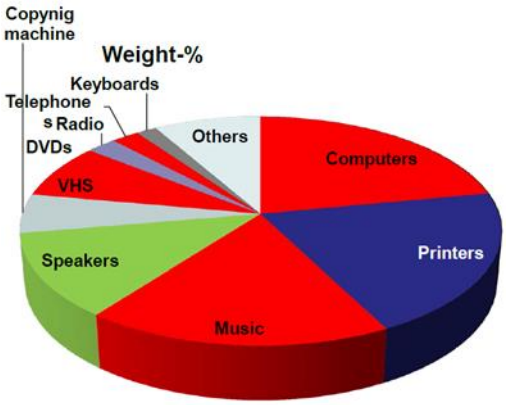
Bij smartphones maken onderdelen met hoge gehaltes en concentraties aan kritieke materialen zoals printplaten, scherm, batterij en luidsprekers een belangrijk deel uit van het apparaatgewicht (zie ook Tabel 33).

Tabel 33: De aanwezigheid van enkele kritische metalen in smartphones[90]

Metal	Metal per smartphone in g	Components
Cobalt	6.300 g	Battery
Silver	0.305 g	PCB
Gold	0.030 g	PCB
Palladium	0.011 g	PCB
Neodymium	0.050 g	Loudspeaker magnet
Praseodymium	0.010 g	Loudspeaker magnet

Dit soort toestellen is dan ook veruit het interessantst vanuit het perspectief van materiaalrecuperatie, maar maakt slechts een zeer beperkt deel uit van het gewicht van de inzamelcategorie OVE-IT (zie Figuur 35).

[83] ADEME (2010). Étude du potentiel de recyclage de certains métaux rares.



Figuur 35: Sorteeranalyse categorie 3 per apparaattype in gewichtsprocent[84]

Hoewel de term 'zeldzame aarden' doet vermoeden dat het over erg schaarse grondstoffen gaat, bedragen de wereldreserves meer dan 800 maal de huidige jaarlijkse productie[85]. Verder was tot 2007 de wereldwijde opbrengst van de primaire productie van zeldzame aarden niet meer dan één miljard dollar. Daartegenover staat wel dat de handelswaarde van producten waar zeldzame aarden inzitten wereldwijd tegen de 2 biljoen dollar op jaarbasis bedraagt.[86]

De verschillende oxiden van zeldzame aarden komen niet in afzonderlijke deposito's voor, en worden dus als mix ontgonnen en verwerkt. Sommige worden gewonnen als bijproduct van het mijnen van ijzer, titaan, uranium, zirkonium of tin. Zeldzame aarden die samen voorkomen zijn moeilijk van elkaar te scheiden omwille van hun chemische verwantschap. De verwerking van de verschillende ertsen vereist specifieke technologieën voor extractie en scheiding. Een van de belangrijkste kenmerken van de vraag naar zeldzame aarden is dat de vraag niet gelijkmatig groeit voor individuele aarden, maar afhankelijk is van de groei van de markten voor de producten waarin een specifiek zeldzame aarde is gebruikt. Juist omdat verschillende zeldzame aarden als mengeling voorkomen en gedolven worden, is het dus in de praktijk niet mogelijk om vraag en aanbod van een individueel zeldzame aarde op elkaar af te stemmen. De zeldzame aarden waarvoor een groot onevenwicht tussen vraag en aanbod bestaat zijn Neodymium, Europium, Terbium, Dysprosium en Yttrium.[87]

Zeldzame aarden in AEEA zijn voornamelijk terug te vinden in magneten van elektromotoren, harde schijven en luidsprekers, en in bepaalde elektronische componenten[88].

---

84 http://www.recobaltic21.net/downloads/Public/Conferences/BUP%20Summer%20Course%20on%20Sustainability%20and%20Waste%20Management%20in%20the%20Baltic%20Making%20Waste%20Work/kerstin_kuchta_electric_waste.pdf

85 U.S. Geological Survey (2010). Mineral commodity Summaries, Rare Earths, January 2010.

86 Lezing van Arnold Tucker op The Second Trilateral EU-Japan-US Conference on Critical Materials, 28-29 maart 2012, Tokio, Japan. Beschikbaar op www.tno.nl, geraadpleegd op 30/04/2014

87 http://www.europarl.europa.eu/RegData/bibliotheque/briefing/2013/130514/LDM_BRI(2013)130514_REV1_EN.pdf

88 Oko-Institut e.V. (2011). Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament.

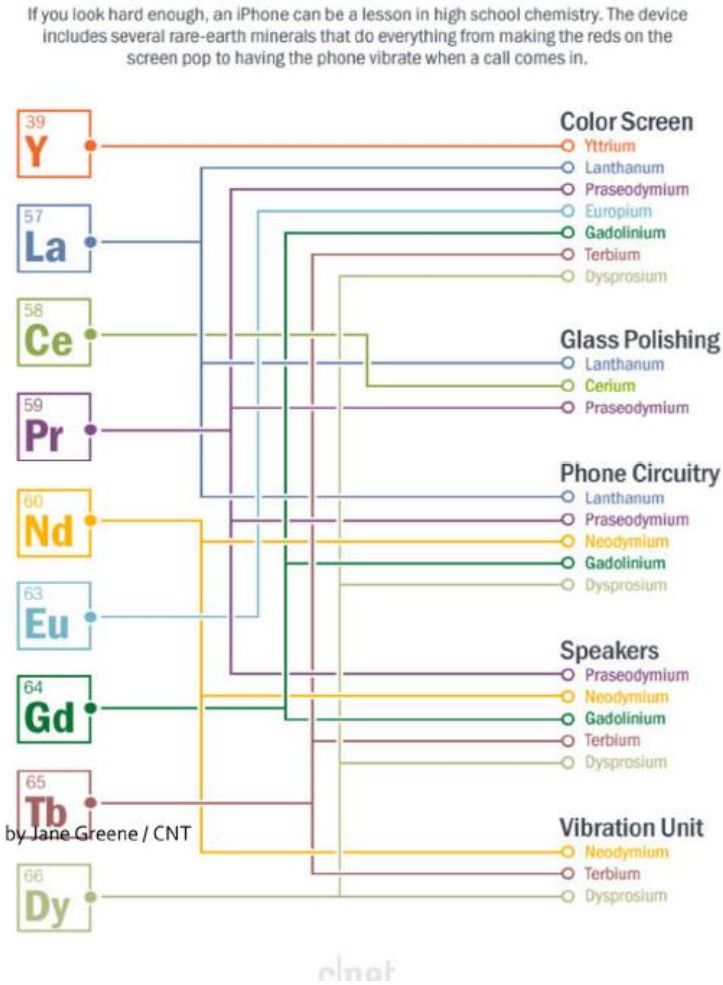
- Een gemiddelde NdFeB magneet bevat 69% neodymium, 5% dysprosium, 23,4% praseodymium, 2% gadolinium en 0,2% terbium[89]. In 2011 was 31% van deze magneten terug te vinden in hard disk drives[92]. Conventionele hard disk drives (HDD) in PC's (inbegrepen laptops) bevatten ongeveer 5,9 gram neodymium in permanente Nd-magneten. Gemiddeld zit er 8,2 gram aan NdFeB magneten in laptop computers (Öko-Institut, 2012)[90], wat betekent dat er in een laptop 2,14 gram neodymium, 0,27 gram praseodymium en 0,06 gram dysprosium zit. Voor desktops zijn deze waarden nog hoger. Andere analyses komen tot een gelijkaardige vaststelling. In praktisch alle nieuwe PC's en laptops wordt de neodymium bevattende HDD met voice-coil-motor (VCM) echter vervangen door solid state drives (SSD), zodat de hoeveelheid neodymium in deze apparaten in de toekomst sterk zal dalen.[88]

Tabel 34: Neodymiumgehalten en concentraties in laptops en desktops[84]

	Laptop	Personal Computer
Component	Neodym [mg]	Neodym [mg]
Hard disk drive	1121	**3621**
Loudspeaker	**1253**	310
CDROM drive	927	977
Fan	2	8
Floppy disk drive	**1144**	116
Total mass	**4447 (0,16 %)**	**5032 (0,05%)**

- Smartphones bevatten ongeveer 50 milligram neodymium en 10 milligram praseodymium in luidsprekers[87] (zie ook Tabel 33). Andere toepassingen van zeldzame aarden in smartphones zijn weergegeven in Figuur 36[91]. De concentratie van elk van de zeldzame aarden in dergelijke apparaten is lager dan 0,2% op gewichtsbasis.

[89] Court, P. (2011). Study into the feasibility of protecting and recovering critical raw materials through infrastructure development in the south east of England. European Pathway to Zero Waste (EP0W).
[90] Öko-Institut e.V. (2012). Recycling critical raw materials from waste electronic equipment. Darmstadt, February 2012.
[91] http://www.asekol.cz/cs/download/3.santos_jj_re-in-weee.pdf



Figuur 36: Gebruik van zeldzame aarden in iPhones

- (Touch) screens van GSM's, GPS-systemen en andere kleine IT bevatten Europeum[91].
- In een recent experiment werd magnetisch afval uit de recyclage van voornamelijk groot witgoed[92] gescheiden in sterke magneten, zwakke magneten, magnetisch poeder, en niet-magnetische bestanddelen (zie foto Figuur 37). De fracties werden geanalyseerd met X-ray fluorescentie (XRF). Slechts 5,5% van het magnetisch afval bleek te bestaan uit zeldzame aarden, voornamelijk Nd.

[92] Bristøl, L.M.L. (2012). Characterization and recovery of rare earth elements from electronic scrap. Department of Materials Science and Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

Figuur 37: Magnetisch afval uit AEEA recyclage[92]

6.3.4.2 Recyclage van zeldzame aarden uit AEEA

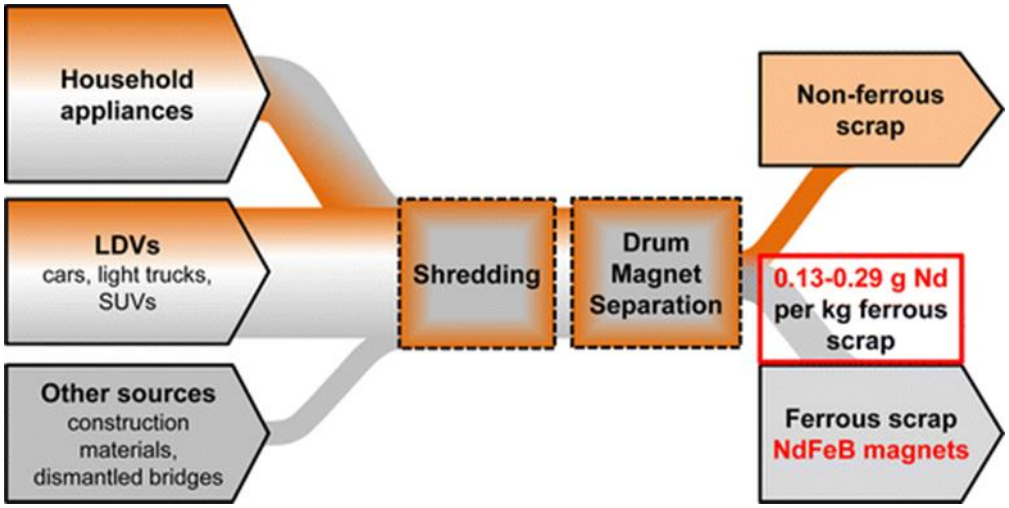
Voor het recycleren van zeldzame aarden uit AEEA dienen de apparaten, voordat andere voorbehandelingen plaatsvinden, ontmanteld te worden om specifieke componenten waarin de aarden geconcentreerd zijn te verwijderen. De recyclageprocessen voor zeldzame aarden zijn bovendien complex en uitgebreid als hergebruik van de component niet mogelijk is, en vereisen zowel fysische als chemische behandelingen. Bovendien zijn de meeste processen energie-intensief[88]. Neodymium, praseodymium en europium hebben de hoogste milieu-impact per kg (Oakdene Hollins, 2010[93]).

De milieu-impact van recyclageprocessen van metalen zijn meestal onbetekenend in vergelijking met de milieu-impacts van vermeden primaire metalen. Dit is met name het geval voor edele en speciale metalen. Bijvoorbeeld, de ratio's tussen de milieueffecten van secundaire productie (met inbegrip van voorbehandeling en metallurgische raffinage) en de vermeden milieu-impacts van de primaire productie zijn voor goud, koper en aluminium 0,004, 0,060 en 0,132 respectievelijk[94], waaruit blijkt dat de effecten van het recyclingproces van ondergeschikte betekenis zijn, zelfs als ze energie-intensieve raffinageprocessen omvatten. Bij gebrek aan commerciële toepassing is het evenwel niet duidelijk of dit ook het geval is voor de complexe recyclageprocessen voor zeldzame aarden.

De recyclage van zeldzame aarden vereist dus een gerichte inzameling, een specifieke voorbehandeling en gespecialiseerde en complexe procestechnologieën. Deze factoren maken het in de praktijk zeer moeilijk om een recyclagesysteem uit te bouwen voor de verwerking van Vlaamse AEEA. Dergelijk recyclagesysteem kan alleen opgebouwd worden op Europese en/of internationale schaal, waarbij stromen van specifieke componenten uit AEEA die rijk zijn aan zeldzame aarden,

[93] Oakdene Hollins (2010). Lanthanide Resources and Alternatives.
[94] Berekend als single score impacts, met ReCiPe Endpoint (H/A Europe) V1.07. en inventory data uit EcoInvent 2.0

afkomstig uit een ruim geografisch gebied, worden samengebracht met andere stromen met interessante concentraties aan individuele zeldzame aarden (zie Figuur 38). Afhankelijk van de beoogde zeldzame aarde(n) kunnen dergelijke 'stromen' bestaan uit (componenten van) slechts één of enkele apparaattypes, zoals camrecorders voor hun yttriumgehalte[95].



Figuur 38: Combinatie van inputstromen voor het terugwinnen van neodymium uit magneten[96]

Het Europese FP7 project 'Remanence'[97] onderzoekt momenteel de recyclage van zeldzame aarden uit NdFeB magneten. Belangrijke onderzoeksinspanningen werden geleverd door Japan, waar belangrijke industriële spelers, zoals Toyota en Nissan, patenten bezitten voor toepassingen van zeldzame aarden in hybride en elektrische voertuigen. Hitachi ontwikkelde een machine voor de demontage van Nd-magneten uit HDD en compressoren, die in 2013 in gebruik genomen zou zijn.[98]

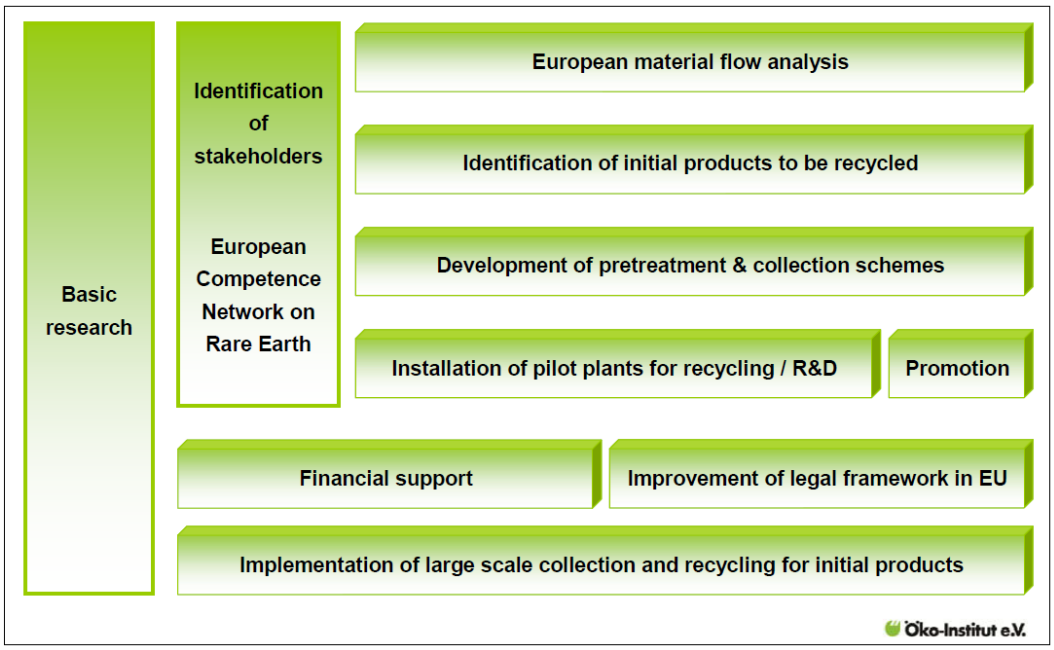
De belangrijkste ontwikkelingen die nodig zijn om de recyclage van zeldzame aarden uit (post-consumer) producten op industriële schaal mogelijk te maken zijn weergegeven in Figuur 39.

95 http://www.recobaltic21.net/downloads/Public/Conferences/BUP%20Summer%20Course%20on%20Sustainability%20and%20Waste%20Management%20in%20the%20Baltic%20Making%20Waste%20Work/kerstin_kuchta_electric_waste.pdf

96 Bandara, H. M. D., Darcy, J. W., Apelian, D., Emmert, M. H. (2014). Value Analysis of Neodymium Content in Shredder Feed: Towards Enabling the Feasibility of Rare Earth Magnet Recycling. Environ. Sci. Techn. 2014, 48, 6553-6560.

97 http://www.project-remanence.eu/9-uncategorised/77-welcome-to-the-remanence-website

98 http://www.hitachi.com/environment/activities/ecoproducts/circu.html



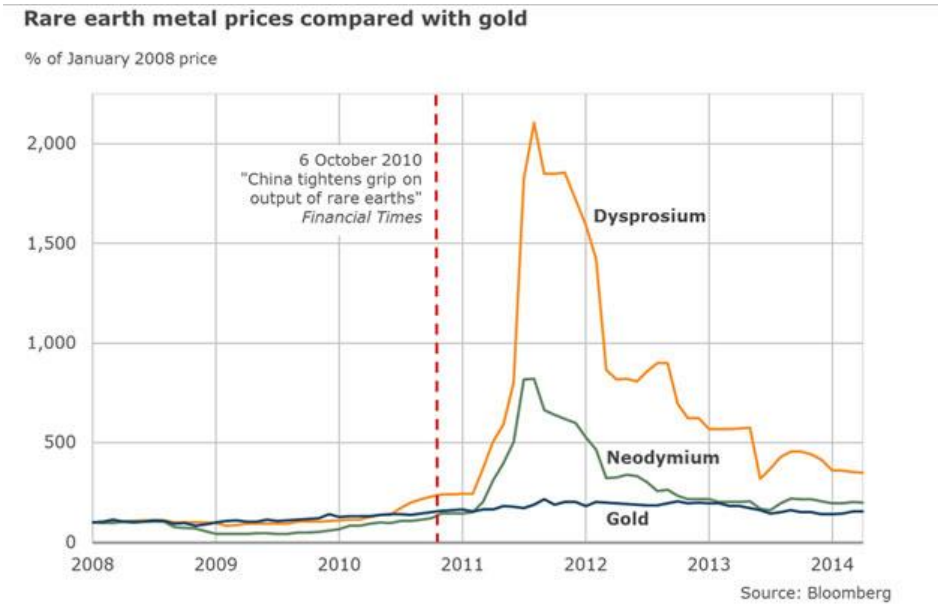
Figuur 39: Stappen voor de uitbouw van een Europees recyclagesysteem voor zeldzame aarden[88]

Verschillende methoden voor de recyclage van zeldzame aarden uit AEEA[99] werden geanalyseerd door Bristøl (2012). De hoge proceskosten en de lage rendementen hebben echter tot nu toe de industriële recyclage van zeldzame aarden tegengehouden. Voor de recuperatie van neodymium wordt de vloeibare metaalextractie met gesmolten zilver als een van de meest beloftevolle methodes beschouwd.

Uiteraard is de prijs van de zeldzame aarden, en ook de volatiliteit van die prijs, de belangrijkste drijfveer voor het onderzoek naar en de ontwikkeling van specifieke recyclageprocessen. Sinds piekwaarden bereikt werden in 2011, daalde de prijs van bijvoorbeeld ceriumoxide met 90%, terwijl dit jaar de lanthaniumprijs dit jaar alleen al met 13% zakte[100]. Ook voor andere zeldzame aarden met (perspectief op) een stijgend aanbod en/of dalende vraag bleken de prijzen die de interesse voor recyclage aanwakkerden uiteindelijk slechts tijdelijk te pieken. Tussen 2012 en 2013 vielen de prijzen met ongeveer de helft terug (zie Figuur 40 en Figuur 41).

[99] Including molten salt processes exploiting chlorides (Oakdene Hollins, 2010), hydrometallurgical processes (Ellis et al. 1994), melt spinning (Itoh et al., 2004), glass slag method (Saito et al., 2003), electroslag refining (Ellis et al., 1994) and extraction technologies using molten silver (Takeda et al., 2004) and magnesium (Ellis et al., 1994, Oakdene Hollins, 2010 and Takeda et al., 2004).

[100] http://www.themalaymailonline.com/money/article/lynas-to-sell-shares-defer-debt-after-rare-earths-slump



Figuur 40: Prijsverloop van neodymium en dysprosium 2008-20014

Historical Pricing (US$/kg)

		2005**	2006**	2007**	2008**	2009**	2010**	2011**	2012**	2013**
La	Lanthanum oxide 99%	1.6	1.8	3.1	7.8	5.9	25	104.9	22	7.5
Ce	Cerium oxide 99%	1.4	1.5	2.5	4.4	4.2	23	102.5	22	7.8
Pr	Praseodymium oxide 99%	8.3	14	28	27	15	49	196.3	112	94
Nd	Neodymium oxide 99%	7.4	15	29	27	15	49	234	114	70
Sm	Samarium oxide 99%	-	-	3.3	4.5	4.5	17	103.5	59	14.2
Eu	Europium oxide 99.9%	277	239	297	470	467	558	2924	2332	1126
Gd	Gadolinium oxide 99%	-	-	8.8	9.8	6.6	23.5	149	90	47
Tb	Terbium oxide 99%	311	460	554	657	352	542	2387	1873	936
Dy	Dysprosium oxide 99%	41	69	83	112	104	232	1471	980	534
Y	Yttrium oxide 99.999%	-	4	6.9	15	14	29	136	85	25
ANV	Average Nolans value	4.5	6.5	11.5	13.9	10	33.52	153.6	62	33

*Source: Metal Pages final reported month end prices
**Source: Metal Pages annual price average for the respective period

Note:
1. The Nolans mix value includes the full REO product range value of the deposit
2. The monthly price figures represent the last quoted price level for the month

Figuur 41: Historische prijzen van zeldzame aarden[101]

In de veronderstelling dat 10% van het OVE-IT dat momenteel gerecycleerd wordt in Vlaanderen (9.070 ton, zie 5.2.2) uit laptops en smartphones zou bestaan (zie ook Figuur 35), met een neodymiumgehalte van 0,16%, spreken we over 1.450 kg neodymium. Met een prijs van 63,5 US$/kg[101] (mei 2014), betekent dit een waarde van minder dan 70.000 euro aan primair neodymium in de interessantste apparaattypes binnen de OVE-IT categorie voor wat dit zeldzame aard betreft. Op een oorspronkelijke materiaalwaarde van 21.633.000 euro van de Vlaamse OVE-IT die aangeboden wordt voor recyclage (zie 6.1.2), is een grootteorde van tienduizenden euro onvoldoende als economische driver voor het opzetten van een afzonderlijk systeem voor de inzameling en de realisatie van investeringen gericht op de winning van neodymium uit OVE-IT. De prijzen voor praseodymium zijn van dezelfde grootteorde dan die van neodymium, maar de gehaltes en concentraties in EEA onderdelen zijn vaak slechts een fractie van die van neodymium.

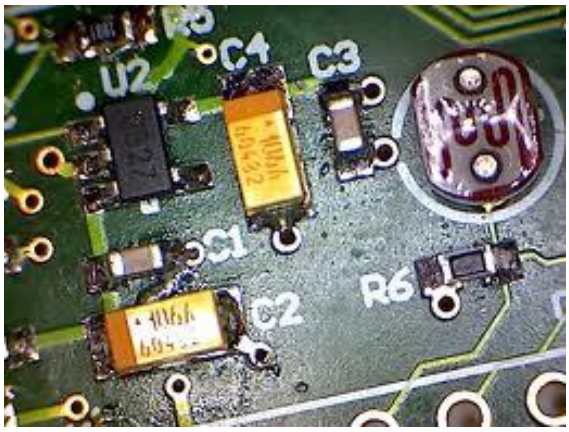
Wat de kriticiteit betreft van zeldzame aarden, kan nog opgemerkt worden dat hoewel zowel het economisch belang als het bevoorradingsrisico in 2013 gedaald zijn tegenover 2010[102].

[101] http://www.arafuraresources.com.au/rare-earths/pricing.html
[102] European commission (2014). Annexes to the report on critical raw materials for the EU, Report of the ad hoc working group on defining critical raw materials.

6.3.4.3 Recyclage van kritieke metalen uit AEEA

De effecten en het potentieel van de recyclage van indium, kobalt, tin en antimoon uit groot witgoed en overig IT werden besproken in 6.1, 6.2, en 6.3.

Germanium wordt gevonden in geïntegreerde circuits van netwerk hardware, GSM's en GPS systemen. Kwantitatieve data zijn echter niet beschikbaar. Ook gallium wordt gebruikt als halfgeleider in dergelijke geïntegreerde circuits, onder de vorm van GaAs, en vindt bovendien toepassing in opto-elektronische apparaten, onder de vorm van GaAs, GaN of InGaN. Tantalium, als oxide, wordt gebruikt in condensatoren op printplaten. De hoogst gemeten concentratie bedroeg 470 mg/kg, voor een bepaald navigatiesysteem, waar de detectielimiet 100 mg/kg bedraagt.[82] Tantalium condensatorschroot bevat tot 40% tantalium. Zowel het gewicht per condensator als het aandeel van tantalium op het totaalgewicht van de printplaat dalen de laatste jaren sterk. Tantalium werd recent uit de EU-lijst van kritieke materialen verwijderd[102].



Figuur 42: Tantaliumcondensatoren op een printplaat (gele componenten)

7. Potentiële bijdrage van de recyclage van AEEA in Vlaanderen aan een duurzaam materialenbeleid

Op basis van de methodologie die toegepast werd in voorgaande secties kan nu ook voor andere product- en inzamelcategorieën bepaald worden:

Welke de AEEA zijn met een interessante materiaalwaarde, en/of met materialen met een hoge kriticiteit, en/of met erg milieubelastende grondstoffen? Over hoeveel waarde, kriticiteit, milieulasten gaat het in Vlaanderen? Hoeveel van het potentieel gerelateerd aan materiaalwaarde/kriticiteit/milieulasten wordt met de huidige stand van technologie en de gangbare recyclagepraktijken teruggewonnen? Welke materialen en materiaalkwaliteiten gaan er verloren tijdens de bestaande recyclageprocessen, en wat betekent dit naar kriticiteit, milieudruk, kringloopsluiting, economische waarde?

7.1 Bijdrage van recyclage van AEEA aan een duurzaam materialenbeleid

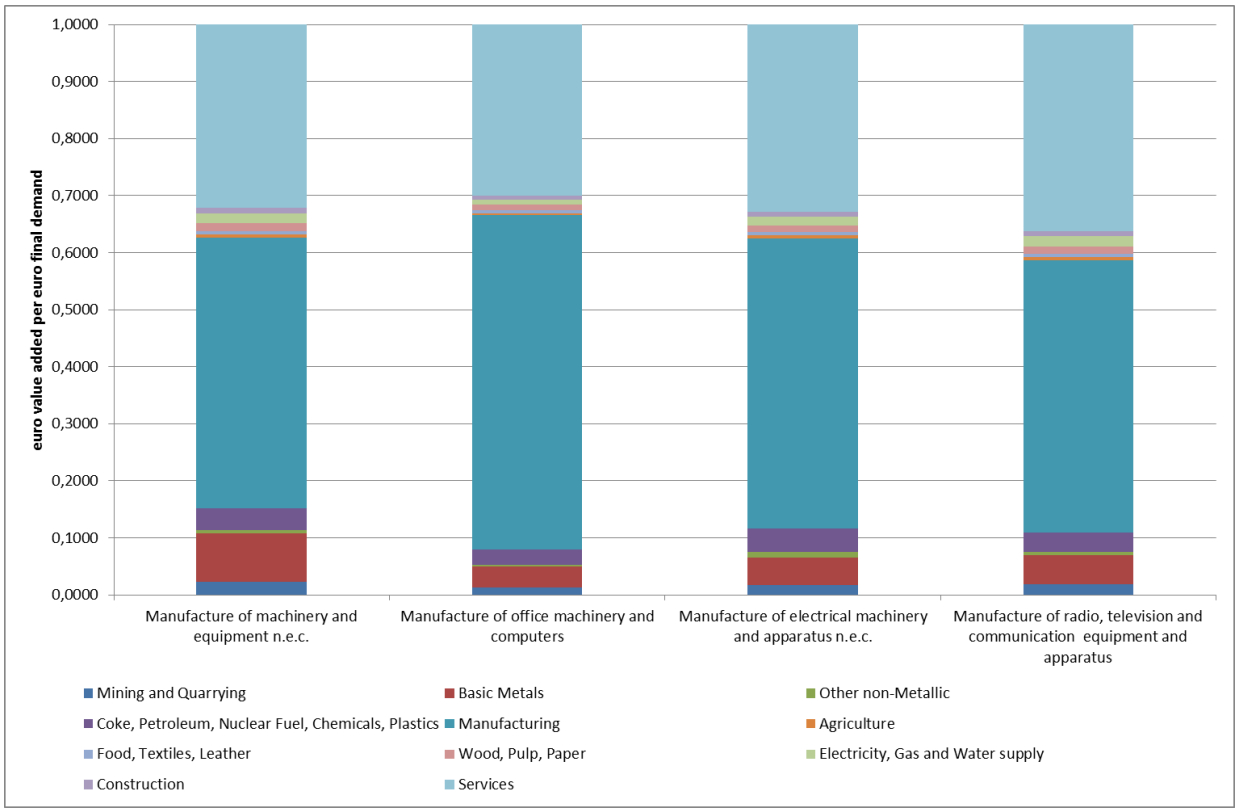
In de afvalhiërarchie staat recyclage op de derde plaats, na preventie en hergebruik. De duurzaamheidswinsten die gerealiseerd kunnen worden op elk lager liggend niveau zijn daarbij telkens slechts een fractie van de winsten op een hoger niveau. Het voorkomen van de productie van een apparaat vermijdt uiteraard alle impacts van de volledige levenscyclus: van het winnen van de grondstoffen, van de assemblage, het energiegebruik bij de consument en van de eindverwerking.

In deze studie werd uitsluitend gekeken naar de voordelen en dimensie van materiaalrecyclage in de meest enge zin, namelijk het recycleren van afval tot materialen die terug in dezelfde of andere toepassing kunnen worden ingezet. In dit perspectief werd er vanuit gegaan dat bij hergebruik al het in het toestel aanwezige materiaal terug wordt ingezet. Ook de milieu-impacts verbonden aan de overeenkomstige vermeden winning van grondstoffen werden in kaart gebracht, terwijl een fractie van de oorspronkelijke materiaalwaarde kan worden gerecupereerd.

Deze enge benadering laat toe het succes van recyclage-inspanningen vanuit een zuiver materialenperspectief te kwantificeren. Dit succes is beperkt door thermodynamische, technologische en economische grenzen. Vanuit een breder maatschappelijk perspectief op duurzaamheid is materiaalrecyclage echter een minderwaardige oplossing, zeer inferieur aan hergebruik (van volledige apparaten en/of componenten) en preventie. De bijdrage van recyclage tot een circulaire economie mag zeker niet overschat worden[103].

[103] Ellen McArthur Foundation (2012). Towards the Circular Economy.

Ter illustratie zijn in Figuur 43 de componenten weergegeven die de waarde bepalen van verschillende in Vlaanderen geproduceerde elektrische of elektronische apparaten. De berekening gebeurde aan de hand van Input/Output modelering. De eerste vier componenten waaruit elke balk is opgebouwd kunnen gedeeltelijk worden teruggewonnen door materiaalrecyclage, namelijk het winnen van grondstoffen (mining and quarrying), de productie van basismetalen en mineralen (basic metals, other non-metallic) en chemicaliën, (transport)brandstoffen en plastics (coke, petroleum, nuclear fuel, chemicals, plastics). Deze componenten maken slechts 7 tot 15% uit van de uiteindelijke fabrieksprijs van het elektrische of elektronisch apparaat, wat overeenkomt met de bevindingen in de secties 6.1.1 en 6.1.2. (12% voor groot witgoed en 3% voor OVE-IT). Dit is meteen de bovengrens van de waarderecuperatie door materiaalrecyclage, waarvan de kosten van de inzameling en het recyclageproces nog moeten worden afgetrokken. De rest (hier 88 tot 97%) van de nieuwwaarde van het apparaat, voornamelijk opgebouwd uit diensten (services) en productie (manufacturing), gaat verloren bij materiaalrecyclage. Ook de aan deze componenten verbonden milieu-impacts kunnen niet worden gerecupereerd. Dit is niet het geval bij hergebruik van het volledige functionele apparaat of van functionele componenten.



Figuur 43: Samenstelling van de waarde van EEA (Bron: VITO)

De berekeningen in verband met hergebruik die uitgevoerd werden in deze studie gebeurden enkel vanuit het enge materialenperspectief dat ook gehanteerd werd voor de berekeningen van de recyclageresultaten. Vanuit een breder maatschappelijk perspectief moet uiteraard ook gekeken worden naar de waarde van het hergebruikte toestel, en naar de milieu-impacts verbonden aan het

vermijden van een (deel van) een levenscyclus die ook vermeden diensten, assemblage, eindverwerking, enzoverder beschouwen. Dergelijke berekening valt echter buiten het bereik van deze studie.

7.2 Trends en ontwikkelingen voor recyclage

7.2.1 Verschuivingen in het aanbod van AEEA

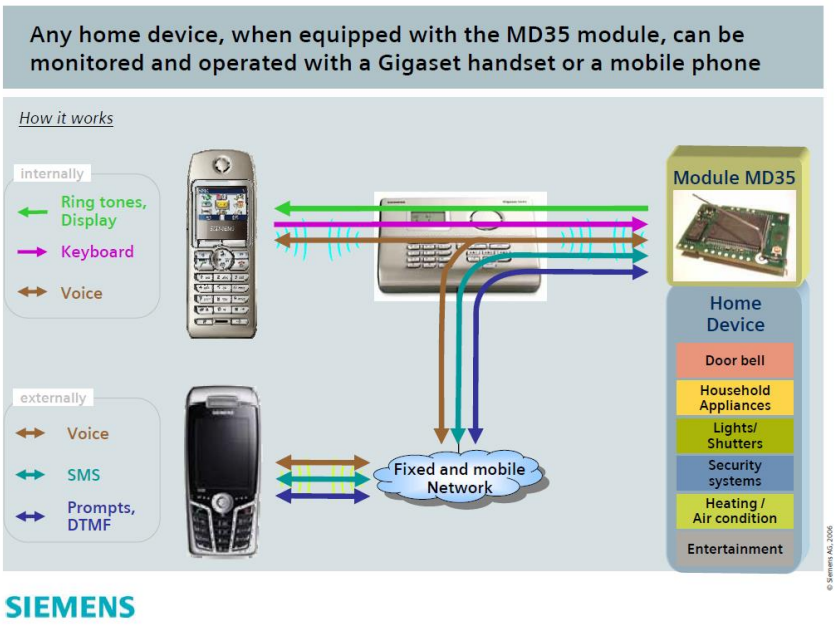
Toekomstige inzamel- en/of recyclagedoelstellingen moeten rekening houden met alle potentiële opbrengsten van recyclage, zowel naar economische waarde, schaarsheid, strategische waarde als naar milieuwinsten toe.

In sectie 2.3 werd een inschatting gemaakt van de verandering in materiaalsamenstelling van het totale aangeboden volume van AEEA, op basis van de verkochte volumes van elk van de verschillende productcategorieën EEA. Deze inschatting gaat er van uit dat de materiaalsamenstelling van elke productcategorie ongewijzigd blijft. Dit is echter niet het geval, omdat:

- Groot witgoed zal in toenemende mate geïntegreerd worden in smart grids, waarbij slimme apparaten zullen communiceren met derden[104]. Hiervoor zal de nodige ICT moeten worden ingebouwd in het apparaat.
- Voor grondstof en energie verbruikende apparaten (EUA) zal de noodzaak of verplichting tot hogere efficiëntie in de gebruiksfase vermoedelijk ook de materiaalintensiteit verhogen. Zo worden bijvoorbeeld sommige wasmachines uitgerust met bijkomende sensoren met magneten om het wasgoed te wegen en zo het watergebruik aan te passen.[105] Dergelijke evoluties maken het gevaar voor 'burden shifting' van de gebruiksfase naar de productiefase niet denkbeeldig.
- In toenemende mate worden elektrische en elektronische toestellen geïntegreerd in huishoudelijke kringen (domotics), die ook vanop afstand kan worden bestuurd door de gebruiker en informatie doorgeeft aan zowel de gebruiker als aan andere apparaten uit de kring (Figuur 44), met het oog op het verbeteren van comfort, veiligheid en energie- of grondstofgebruik.

[104] http://eandt.theiet.org/magazine/2014/04/keeping-the-lights-on.cfm

[105] http://www.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_spring_2007/livable_megacities/household_appliances.htm



Figuur 44: Siemens MD35 module voor communicatie met en besturing van huishoudelijke elektrische apparaten en systemen[106]

Deze trends van integratie door communicatie zal de concentratie van speciale en edelmetalen en zeldzame aarden in de apparaten verhogen, alsook hun impact naar milieu en kriticiteit. Tot zeer recent gold immers de zogenaamde Wet Van Moore, genoemd naar de medeoprichter van Intel, Gordon Moore. Deze wet stelt dat het aantal condensatoren dat op een geïntegreerd circuit kan geplaatst worden elke twee jaar verdubbelt, waardoor miniaturisering en capaciteitsuitbreiding mogelijk blijven. Aan deze groei lijkt een einde te zijn gekomen[107]. Nieuwe semiconductor technologieën zoals bijvoorbeeld POET (Planar OptoElectronic Technology) die een zeer vergaande integratie van functionaliteiten mogelijk maken zijn echter al in ontwikkeling om het tij weer te keren.[108]

Technologische ontwikkelingen, de evolutie van grondstofprijzen, het invoeren van nieuwe productnormen of het wijzigen van bestaande normen en wettelijke verplichtingen hebben op het einde van de levensfase allemaal een grote impact op de recyclage-industrie, en stellen deze voor nieuwe uitdagingen.

Voorbeelden van dergelijke ontwikkelingen zijn:

- de huidige vervanging van hard disk drives met VCM door Solid State Drives (zie 6.3.4.1);
- de discussie op Europees niveau rond het gebruik van cadmium in draagbare batterijen[109], die de markt voor cadmium uit cadmiumhoudende batterijen grotendeels wegneemt;
- de vervanging van CRT televisies die de markt voor gerecycleerd CRT-glas volledig uitvaagt;

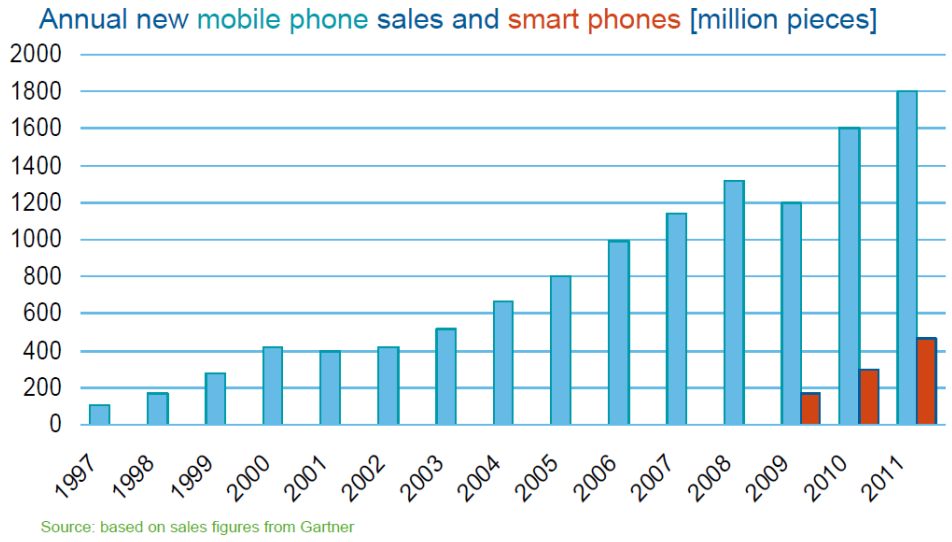
[106] https://www.siemens.be/cmc/ccmi/smarthome/presentations/TIH_Lutz_Gartner.pdf
[107] http://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc_archives/hc25/HC25.15-keynote1-Chipdesign-epub/HC25.26.190-Keynote1-ChipDesignGame-Colwell-DARPA.pdf
[108] http://www.poet-technologies.com
[109] http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/

- de snelle evolutie van schermtechnologieën, van CRT over plasma, LCD en LED naar OLED. Grote televisieschermen worden waarschijnlijk binnen enkele jaren volledig vervangen door projectietechnologieën;
- het verbod op broomhoudende vlamvertragers, dat de recyclage van AEEA plastics bemoeilijkt, waarin nog steeds een weliswaar dalende concentratie aan broomhoudende vlamvertragers is terug te vinden;
- de mogelijke substitutie van lithium ion batterijen met een voor de recyclage industrie interessante kobaltconcentratie (9 tot 19% in draagbare batterijen) naar lithium air batterijen[110] of batterijen waar meer kobalt wordt gesubstitueerd door andere economisch minderwaardige metalen.

De termijn waarop dergelijke uitdagingen moeten beantwoord worden lijkt bovendien steeds korter te worden. Voor de recyclage van CRT-glas gebeurt momenteel intensief onderzoek naar nieuwe technologieën voor alternatieve toepassingen[111]. Hoewel de recyclage industrie heeft geanticipeerd op de groei van de volumes herlaadbare lithium ion batterijen[112], onder meer uit (nog niet verkochte) elektrische of hybride wagens, kan de hoger geschetste ontwikkeling rond lithium batterijen zorgen voor een 'return on investment' die lager uitvalt dan verwacht. Licht-emitterende kleurenschermen gebruiken steeds vaker OLED technologie, waarvoor zowel iridium (blauwe fluorescentie) als indium nodig zijn (indium tinoxide (ITO) laag). Er is minder dan 0,008 gram iridium en 0,56 gram indium nodig per vierkante meter scherm. Voor de maakindustrie zit de waarde van de ITO laag niet in het aanwezige indium, maar wel in de productiekosten: ITO coatings hadden in 2009 een productiekost van meer dan 30 US$ per vierkante meter, inbegrepen een materiaalkost aan indium van 17 dollarcent. De waarde van iridium per vierkante meter scherm bedroeg in 2009 1 dollarcent[113].

Op wereldschaal groeit de markt van GSM's en smartphones, de OVE-IT met de economisch meest interessante materiaalwaarde, nog snel (Figuur 45). Deze groei zal vermoedelijk veel minder uitgesproken zijn in Europa, waar vervangingsaankopen een groot deel van de markt uitmaken.

[110] http://cleantechnica.com/2014/03/26/lithium-air-batteries-planned-volkswagen/
[111] http://www.prnewswire.com/news-releases/kuusakoski-recycling-tackles-crt-e-waste-challenge-with-new-kleankover-technology-and-50k-annual-capacity-223099851.html
[112] http://www.batteryrecycling.umicore.com/UBR/
[113] Bardsley Consulting: DOE SSL Manufacturing Workshop, April 2009



Figuur 45: Wereldverkoop GSM's en smartphones

Uit het bovenstaande kan besloten worden dat de absolute volumes aan zeldzame aarden en speciale en edelmetalen in AEEA nog zullen toenemen. De concentraties van de voor recyclage economisch interessante, want dure materialen zullen vermoedelijk nog verder dalen. Voor de maakindustrie is het gebruik van minder en minder kostbare materialen minder relevant, omdat de materiaalkost een steeds kleiner deel uitmaakt van de productiekost, naarmate de technologieën (zoals de OLED technologie) complexer worden en nanotechnologieën opgang maken.

7.2.2 Ontwikkelingen in de verwerking van AEEA

Buiten de in voorgaande hoofdstukken al genoemde **(onderzoeks)projecten** die een efficiëntere recyclage beogen van AEEA, zoals het Motor Recycling project (MoRe), zijn er tal van projecten in uitvoering die zich specifiek richten op kritieke metalen en zeldzame aarden, zoals het Zwitserse project E-RECMET[114], de projecten RePro [115]en ReStra[116], in opdracht van het Duitse federale milieuagentschap, het Europese project RECLAIM en het Nederlandse Materials Innovation netwerk. Een vruchtbare samenwerking tussen deze projecten zou synergetische effecten brengen en leiden tot innovatieve oplossingen voor de uitvoering in de praktijk[82].

De huidige verwerking van Vlaams groot witgoed en overig IT beoogt in de eerste plaats de recuperatie van bulkmaterialen, en is op dit vlak ook succesvol.

Vooral wat waarde betreft ligt de belangrijkste verliespost van het recyclagesysteem voor groot witgoed in de **plastic- en polymeerfractie**. Ook voor overig IT is het verlies hier aanzienlijk. De dalende aanwezigheid van zware metalen (cadmium, lood, chroom, kwik), halogenen of

[114] http://www.umtec.ch/uploads/tx_hsrpm/Factsheet_E-Recmet.pdf
[115] http://www.oekopol.de/archiv/material/603_Kurzbeschreibung_RePro.pdf
[116] http://www.worldresourcesforum.org/files/WRF2013/Workshops/1_Till%20Zimmermann.pdf

dioxinen/furanen en gebromeerde vlamvertragers uit oudere toestellen biedt kansen voor een verhoogde recyclage van AEEA plastics. Anderzijds remmen het grote aantal verschillende polymeren (Figuur 46) en het toenemend gebruik van composietplastics en specifieke additieven recyclage weer af.

WEEE item	Polymer composition
Printers/faxes	PS (80%), HIPS (10%), SAN (5%), ABS, PP
Telecoms	ABS (80%), PC/ABS (13%), HIPS, POM
TVs	PPE/PS (63%), PC/ABS (32%), PET (5%)
Toys	ABS (70%), HIPS (10%), PP (10%), PA (5%), PVC (5%)
Monitors	PC/ABS (90%), ABS (5%), HIPS (5%)
Computer	ABS (50%), PC/ABS (35%), HIPS (15%)
Small household appliances	PP (43%), PA (19%), ABS-SAN (17%), PC (10%), PBT, POM
Refrigeration	PS&EPS (31%), ABS (26%), PU (22%), UP (9%), PVC (6%),
Dishwashers	PP (69%), PS (8%), ABS (7%), PVC (5%)

Figuur 46: Belangrijkste plastiektypes gebruikt voor de productie van ingezameld AEEA[117]

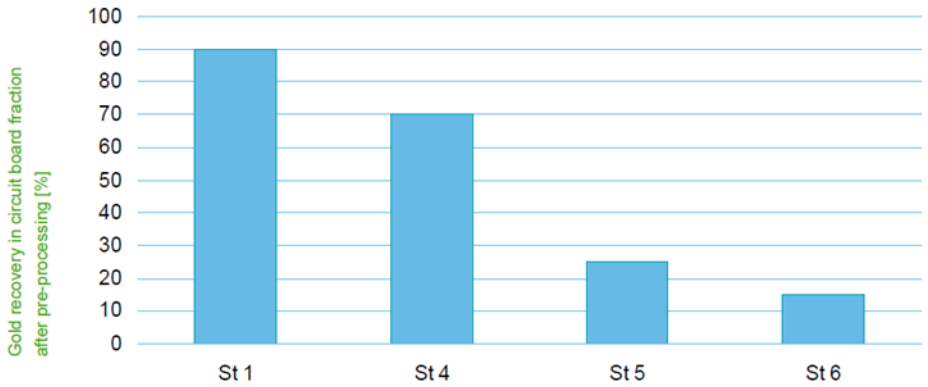
De huidige efficiëntie van de mechanische recyclage van **plastics** (vermalen, shredden, wassen, drogen en smelten) wordt ingeschat op 60%[118]. Hoe hoger de zuiverheidsvereisten en de initiële graad van verontreiniging met ongewenste elementen, hoe zwaarder de benodigde post-refining behandeling, en hoe groter het materiaalverlies wordt. Het materiaalverlies kan dan oplopen tot meer dan 50%[119]. Deze cijfers ligt veel hoger dan de rendementsverliezen van de plasticrecyclage die in deze studie werden gebruikt, wat laat vermoeden dat de overeenkomstige economische en milieuwinsten ook sterk werden overschat. Grote stukken plastiek uit groot witgoed kunnen in principe manueel worden gescheiden en gesorteerd voor het shredden. Voor elk polymeertype moet dan onderzocht worden of de meerkost wordt gecompenseerd door een hoger rendement en een betere kwaliteit van de gerecycleerde plastics, en of een voldoende schaalgrootte kan worden bereikt voor industriële toepassing. In het kader van een MIP-project werden experimenten uitgevoerd waarbij back covers van televisies werden afgescheiden en verwerkt tot nieuwe back covers (closed loop recycling)[120].

Voor overig IT zorgen het **laaggelegeerd staal** en de **liquid crystals** ook voor belangrijke waardeverliezen. Het prijsverschil tussen primair staal en staalschroot lijkt moeilijk weg te werken door de verwerking af te stemmen op een verhoogde kwaliteit van het staalschroot. Het volume van staalschroot uit AEEA is bovendien onbetekenend voor de staalindustrie. Het terugwinnen van de functionele liquid crystals is technisch mogelijk met de superkritische CO2 fluïdum techniek, maar

[117] JRC IPTS (2007). Assessment of the environmental advantages and disadvantages of polymer recovery processes.
[118] Plastic Recyclers Europe (2013). Study on increased mechanical recycling target for plastics. Final Report.
[119] Mudgal, S., Lyons, L., Bain, J. et al. (2011). Plastic Waste in the Environment – Revised Final Report for European Commission DG ENV.
[120] Peeters, J. R., P. Vanegas, et al. (2013). Product Clustering for Closed Loop Recycling of Flame Retardant Plastics: A Case Study for Flat Screen TVs. Re-engineering Manufacturing for Sustainability, Springer: 383-388
Vanegas, P., Peeters, J.R., Devoldere, T., Cattrysse, D., Duflou, J.R. (2012). Closed loop recycling of Philips TV housing plastics, In: Proceedings of i-SUP 2012 International Conference – Innovation for Sustainable Production, Bruges, Belgium.

indien deze techniek ook commercieel haalbaar zou worden (wat nog lang niet het geval is), zullen in de eerste plaats de grotere televisieschermen verkozen worden als inputmateriaal.

Voor overig IT gaat een groot deel van de waarde en de milieuwinsten teniet door het verlies van **koper en edelmetalen**, vooral van goud, doorheen het recyclageproces. De keuze van de voorbehandelingstechniek speelt hierbij een grote rol, zoals geïllustreerd wordt in Figuur 47. Hetzelfde geldt voor kritieke metalen en zeldzame aarden die geconcentreerd voorkomen in zeer specifieke componenten. Het gaat dan in het bijzonder over elektromotoren, magneten, batterijen, schermen en printplaten. Voor elektromotoren worden alternatieve verwerkingstechnologieën onderzocht.



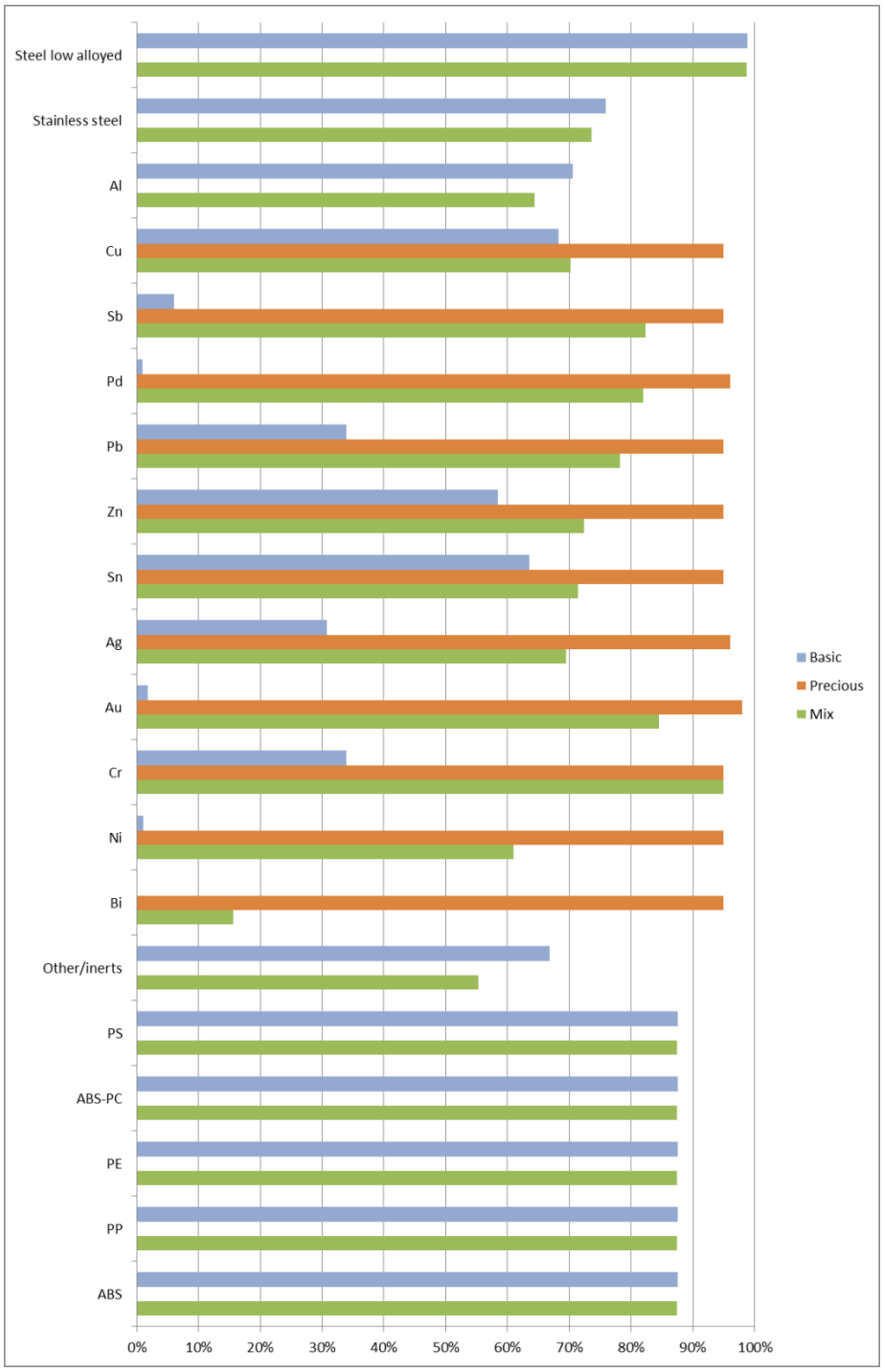
Study	Reference	Process description	Input
St 1	Chancerel & Rotter 2008	Manual pre-processing	176 kg of IT & consumer eq.
St 4	Meskers et al. 2009	Low intensity mechanical pre-processing	1.4 tons of PC
St 5	Chancerel et al. 2009	High intensity mechanical pre-processing	27 tons of IT & consumer eq.
St 6	Van Schaik & Reuter 2009	High intensity mechanical pre-processing	Not indicated

Source: Rotter et al. Elektronik Ecodesign Congress München (Oct.2009)

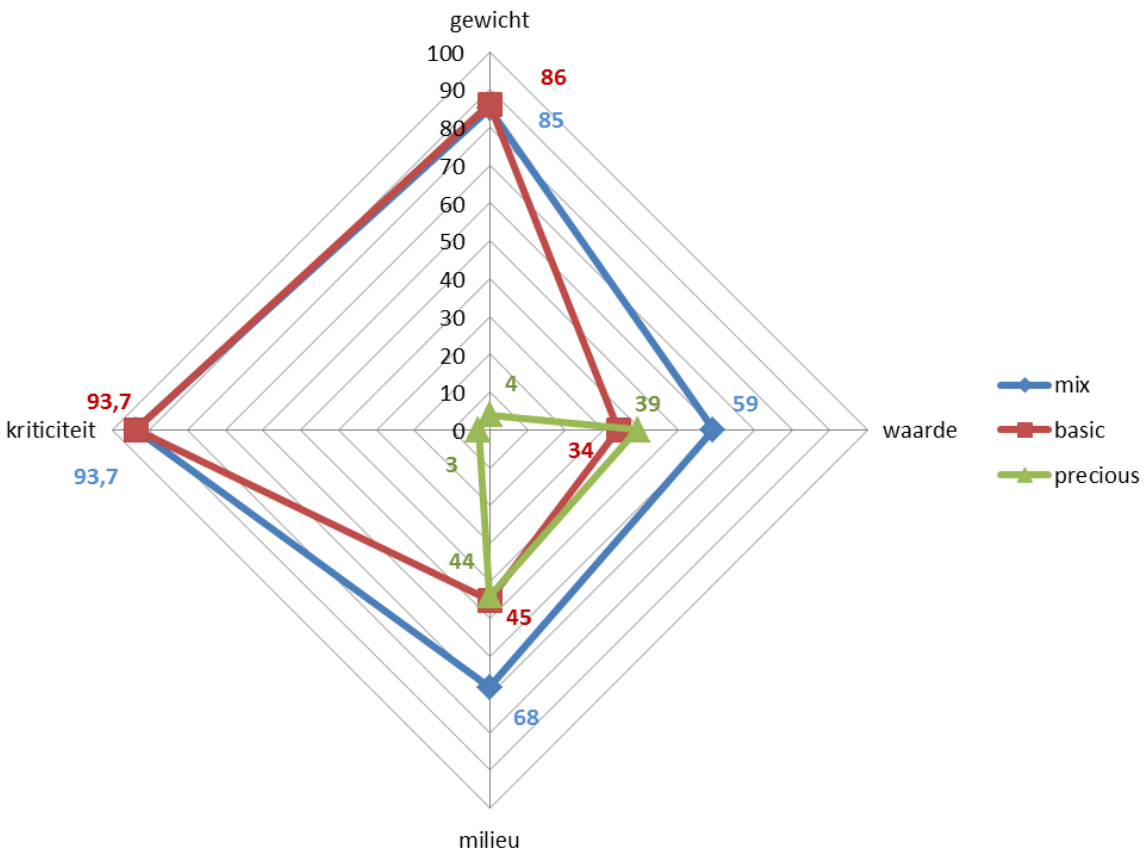
Figuur 47: Effect van de keuze van de voorbehandelingstechniek op de recuperatie van goud uit de printplaatfractie van AEEA

Om het verschil tussen de materiaalopbrengsten van verschillende verwerkingsroutes voor overig IT te illustreren werden **drie verschillende verwerkingsroutes** verondersteld voor OVE-IT: 1) de gemengde route '**mix**', zoals beschreven in 5.1.2, waarbij zowel volledige apparaten als gedemonteerde apparaatonderdelen, met hoge concentraties aan kopen en edelmetalen, vóór het shredden afgescheiden worden in de voorbehandeling, om afgeleid te worden naar de geïntegreerde smelter; 2) de verwerkingsroute voor groot witgoed '**basic**', waarbij het OVE-IT in de voorbehandeling wordt geshred en de koper- en edelmetaalrijke outputfracties die resulteren uit de daaropvolgende processtappen in de geïntegreerde smelter terechtkomen; en 3) een hypothetische verwerkingsroute '**precious**' waarbij alle OV-IT niet-selectief en zonder voorbehandeling naar de geïntegreerde smelter wordt gestuurd.

In Figuur 48 wordt de efficiëntie van de drie verwerkingsroutes weergegeven voor elk van de samenstellende materialen van overig IT. Materialen die in geen enkele van de routes worden gerecycleerd zijn niet weergegeven.



Figuur 48: Materiaalopbrengsten in % van drie verschillende verwerkingsroutes voor OVE-IT



Figuur 49: Potentieel recyclage OVE-IT over verschillende verwerkingsroutes

Uit Figuur 49 blijkt dat de drie routes erg verschillende resultaten hebben op gebied van gewicht aan gerecycleerde materialen, kringloopsluiting, vermeden milieu-impacts en teruggewonnen kritiek gewicht. Het afscheiden van koper- en edelmetaalrijke apparaten en apparaatonderdelen ('mix') levert duidelijk voordelen op tegenover de 'basic' route wat betreft gerecycleerde waarde en vermeden milieu-impacts, omdat de verliezen aan koper en edelmetalen geminimaliseerd worden. Op gebied van kriticiteit en gerecycleerd gewicht is er nauwelijks verschil tussen beide routes. Dit komt doordat de EU geen kriticiteit toekende aan goud (enkel geologische schaarste), en door de geringe bijdrage van edelmetalen in het totaalgewicht. De figuur illustreert tevens dat zelfs indien er helemaal geen laaggelegeerd staal en plastics zouden gerecycleerd worden ('precious') en er bovendien geen onderscheid zou gemaakt worden tussen apparaten en onderdelen met een hoog gehalte aan edelmetalen enerzijds en edelmetaal-arme apparaten anderzijds, de geïntegreerde smelter alleen iets meer milieu-impacts vermijdt in vergelijking met een voorbehandeling die ook niet selectief is ('basic'), terwijl er tegelijkertijd een aanzienlijker deel van de materiaalwaarde wordt gerecupereerd. Het gemengde verwerkingsproces levert duidelijk de meest positieve resultaten op.

Bovenstaand voorbeeld illustreert het belang van het opzetten van product- en onderdeel gerichte recyclageroutes, waarbij de indeling van (A)EEA in de huidige categorieën weinig bruikbaar is. Er is een verschillende en hogere resolutie nodig om tot een categorisatie van (A)EEA te komen die meer geschikt is om recyclagedoelstellingen vast te leggen en op te volgen.

De opgang van apparaten met een hoog gehalte en concentratie aan kritieke en/of waardevolle materialen (bijvoorbeeld smartphones, zie Figuur 45) zal vermoedelijk meer discussie op gang brengen wat betreft het '**ownership'** van deze materialen, waarbij in toenemende mate zowel consumenten als inzamelaars, tussenhandelaars en verwerkers aanspraak maken op (een deel van) de recyclage-waardekoek.

Op dit ogenblik gebeurt het terugwinnen van koper, speciale en edelmetalen uit printplaten bijna uitsluitend in grote, complexe installaties, met pyrometallurgische processtappen. Er wordt echter veel onderzoek gedaan naar **hydrometallurgische methoden**, die meer exact, voorspelbaar en gemakkelijker te controleren zijn. Ook methoden die gebruik maken van biologische processen zijn veelbelovend. Nieuwe benaderingen beogen ook om het gedeelte van de printplaten dat niet uit edelmetalen bestaat te recupereren.[121] de concentratie van de waarde in bepaalde onderdelen en/of apparaten en de daaruit volgende discussie over 'ownership', in combinatie met de beschikbaarheid van kleinschalige recuperatie-eenheden[122] die gebruik maken van hydrometallurgische processtappen zou er in de nabije toekomst voor kunnen zorgen dat een steeds kleiner gedeelte van de waardevolle stroom bij grootschalige installaties terechtkomt.

7.3 Samenvattende figuren en potentieel van inzamel- en recyclagedoelstellingen voor een verhoogde duurzaamheid

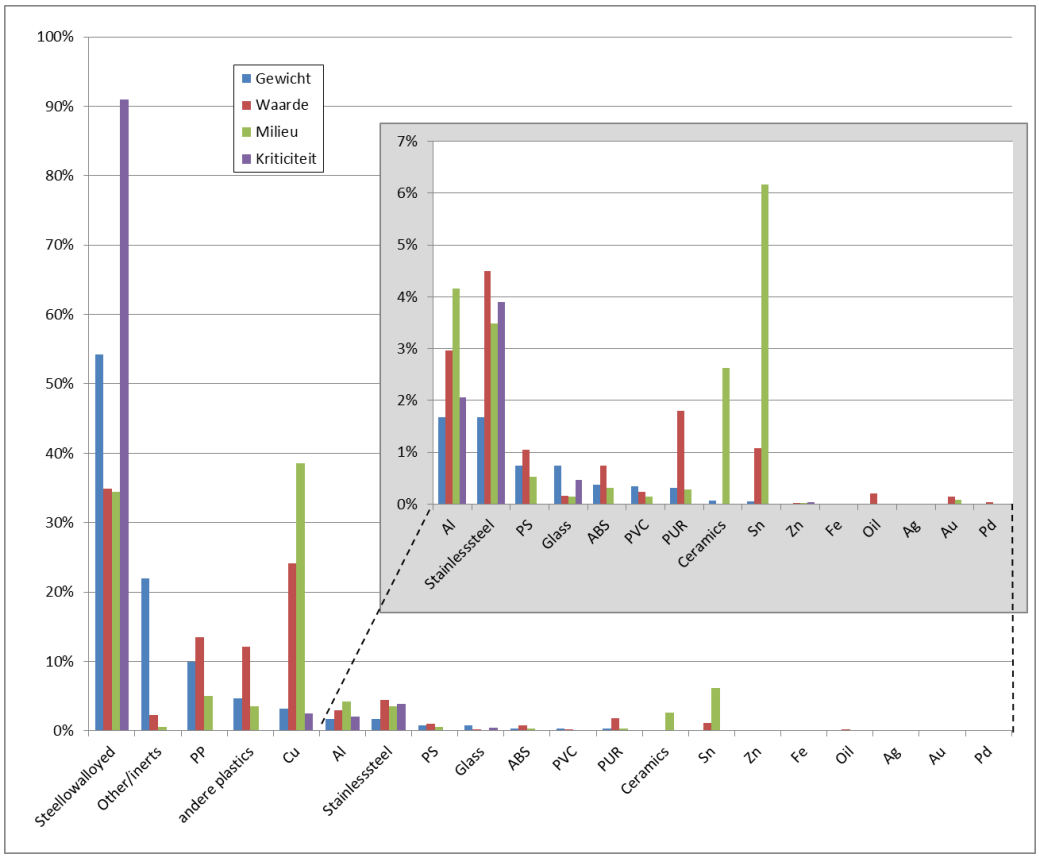
7.3.1 Samenvattende figuren

Onderstaande figuren geven een samenvatting van de resultaten van de studie. Voor de bespreking wordt verwezen naar de overeenkomstige hoofdstukken.

In Figuur 50 wordt het aandeel weergegeven van de samenstellende materialen in AEEA van de categorie groot witgoed, voor elk van de onderzochte parameters.

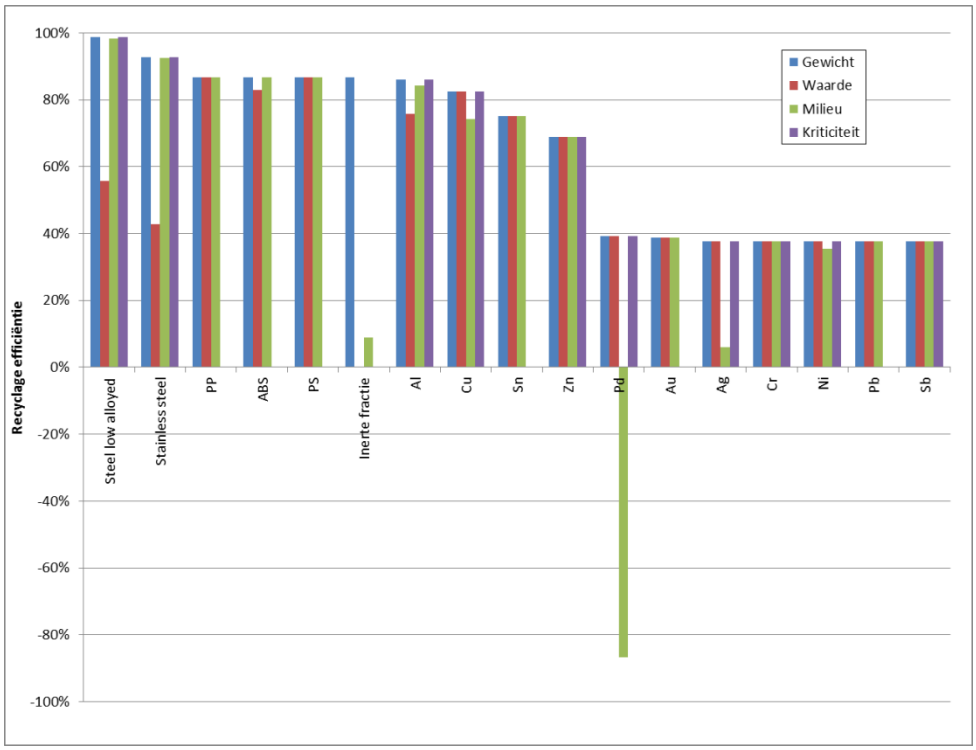
[121] Luda, M.P. (2011). Recycling of Printed Circuit Boards, Integrated Waste Management - Volume II, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-447-4, InTech, DOI: 10.5772/17220. Available from: http://www.intechopen.com/books/integrated-waste-management-volume-ii/recycling-of-printed-circuit-boards.

[122] http://www.rictec.com.sg/precious-metals-recovery/



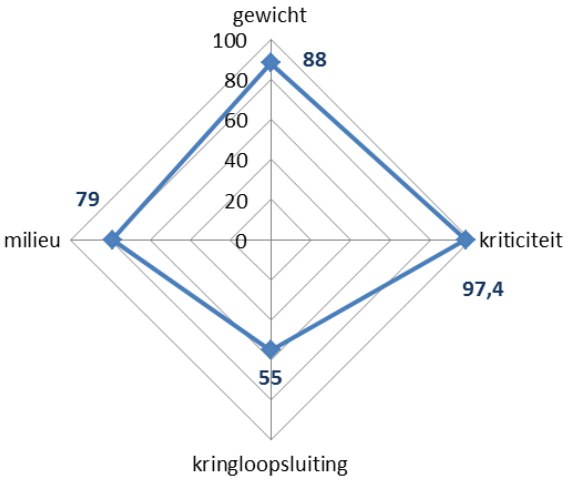
Figuur 50: Gewichts-, waarde-, milieu- en kriticiteitsaandeel van de samenstellende materialen in groot witgoed (%)

In Figuur 51 wordt voor elk materiaal aanwezig in de te recycleren apparaten weergegeven wat de efficiëntie is van het recyclageproces voor de onderzochte parameters. De negatieve milieu-waarde voor Palladium is te wijten aan het feit dat er minder palladium wordt gerecycleerd dan er aan secundair palladium aanwezig was in de input (net-scrap-methode). De recyclage van groot witgoed genereert met andere woorden de noodzaak van een bijkomende ontginning van primair palladium.



Figuur 51: Recyclage-efficiëntie van Groot Wit, in termen van gewicht, waarde (kringloopsluiting), milieu-impacts en kriticiteit (100% = volledige recyclage van het aanwezige materiaal)

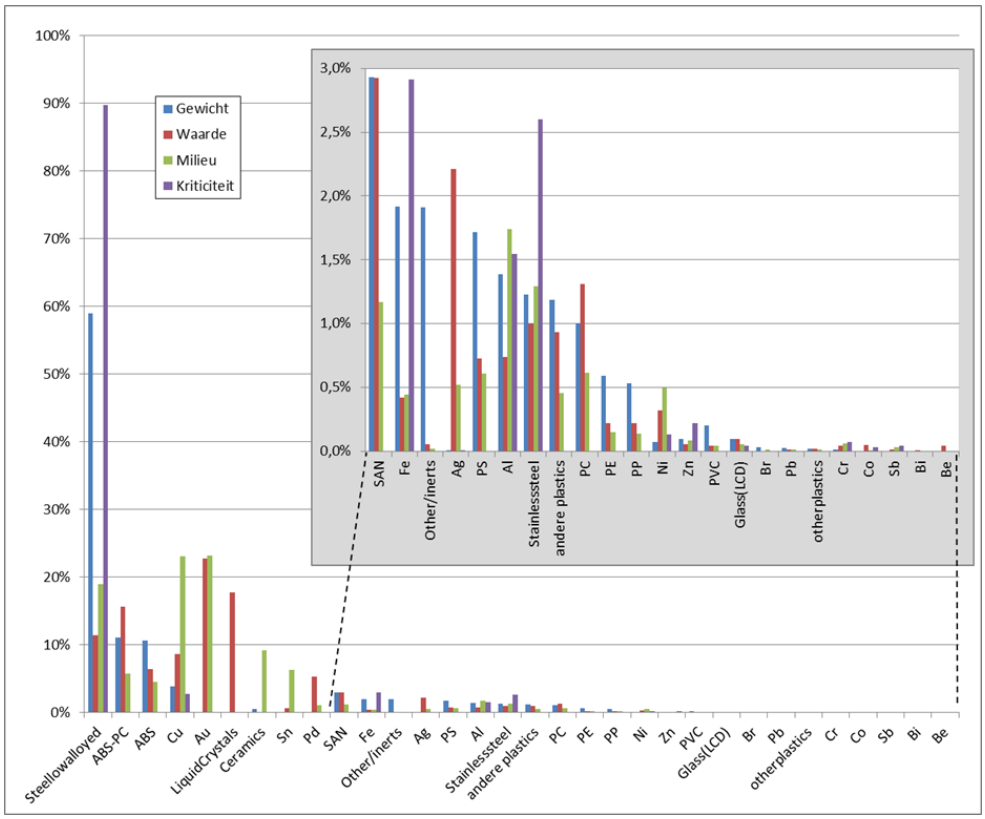
Uit de combinatie van het aandeel van elk materiaal in de totaalwaarden voor gewicht, waarde, kriticiteit en milieu-impact van het voor recyclage aangeboden groot witgoed (Figuur 50), met de efficiëntie van het recyclageproces voor elk van die materialen (Figuur 49), kan dan de efficiëntie van het geanalyseerde recyclageproces bepaald worden voor de verschillende parameters. Dit is weergegeven in Figuur 52.



Figuur 52: Efficiëntie van de recyclage van groot witgoed, voor gerecupereerd materiaalgewicht en -waarde (kringloopsluiting), gerecupereerde kriticiteit en vermeden milieu-impacts

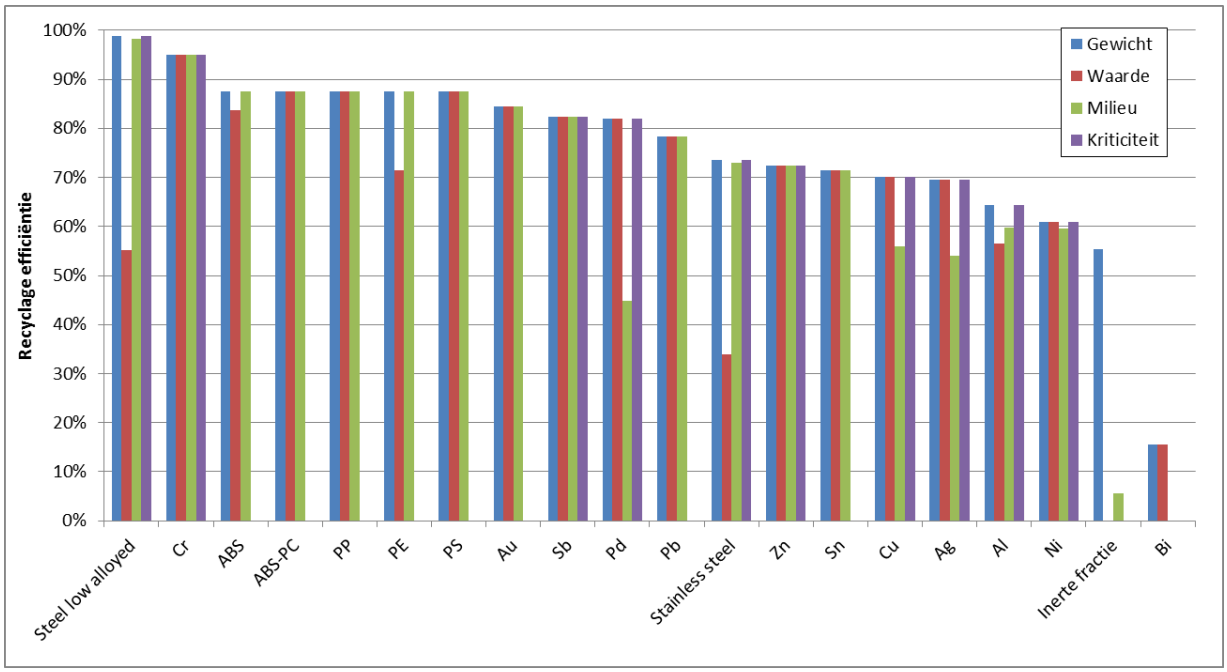
We kunnen besluiten dat de efficiëntie van het bestudeerde recyclageproces uitstekende resultaten oplevert voor groot witgoed, behalve voor kringloopsluiting. Dit is vooral te wijten aan het feit dat de waarde van staalschroot aanzienlijk lager is dan die van laaggelegeerd staal. De late afscheiding van koper in het proces, en de combinatie van koper en ijzer in motoren hebben een negatief effect op de vermeden milieu-impacts.

In Figuur 53 wordt het aandeel weergegeven van de samenstellende materialen in AEEA van de categorie overig IT, voor elk van de onderzochte parameters.



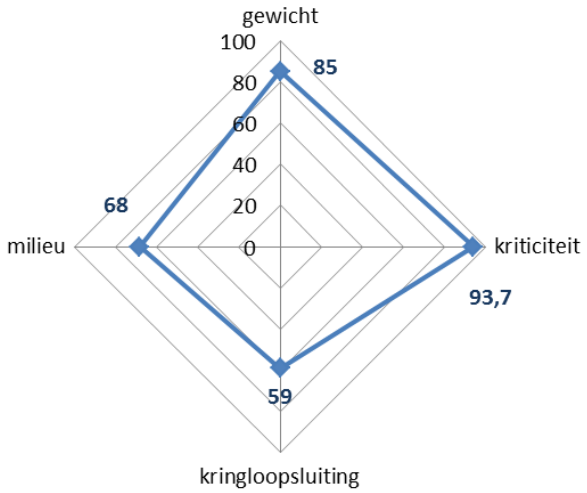
Figuur 53: Gewichts-, waarde-, milieu- en kriticiteitsaandeel van de samenstellende materialen in OVE-IT (%)

In Figuur 54 wordt voor elk materiaal aanwezig in de te recycleren apparaten weergegeven wat de efficiëntie is van de recyclageroute voor de onderzochte parameters.



Figuur 54: Recyclage-efficiëntie van OVE-IT, in termen van gewicht, waarde, milieu-impacts en kriticiteit (100% = volledige recyclage van het aanwezige materiaal)

Uit de combinatie van het aandeel van elk materiaal in de totaalwaarden voor gewicht, waarde, kriticiteit en milieu-impact van het voor recyclage aangeboden groot witgoed (Figuur 53), met de efficiëntie van het recyclageproces voor elk van die materialen (Figuur 54), kan dan de efficiëntie van het geanalyseerde recyclageproces bepaald worden voor de verschillende parameters. Dit is weergegeven in Figuur 55.



Figuur 55: Efficiëntie van de recyclage van overig IT, voor gerecupereerd materiaalgewicht en -waarde (kringloopsluiting), gerecupereerde kriticiteit en vermeden milieu-impacts

We kunnen besluiten dat het geanalyseerde recyclageproces efficiënt is voor alle parameters. Alternatieve verwerkingsmogelijkheden, waarbij geen koper- of edelmetaalrijke apparaten of onderdelen worden afgescheiden in de voorbehandeling, zijn minder efficiënt (zie 7.2.2).

7.3.2 Potentieel van inzamel- en recyclagedoelstellingen voor een verhoogde duurzaamheid

7.3.2.1 Categorisatie

Deze studie toont aan dat de veelheid en verscheidenheid van (A)EEA product- en inzamelcategorieën het betrekken van eenduidige gegevens uit bestaande rapporten erg bemoeilijkt. Zowel de bestaande als de nieuwe in de AEEA Richtlijn voorgestelde categorisaties zijn bruikbaar in een context van inzamel- en recyclagedoelstellingen op gewichtsbasis, terwijl andere doelstellingen van een duurzaam materialenbeleid, zoals kringloopsluiting, vermeden milieu-impacts, en recuperatie van kritieke materialen, buiten beeld blijven. De realisatie van deze 'andere' doelstellingen van een duurzaam materialenbeleid vereist bovendien de ontwikkeling en implementatie van nieuwe recyclagetechnologieën, die op hun beurt ingrijpen op de verschillende processtappen van het recyclagesysteem, met inbegrip van de inzameling. Zoals in dit rapport wordt aangetoond, is deze verandering volop aan de gang. Dit proces komt evenwel niet tot uiting in de behaalde recyclageresultaten, zoals die nu opgevolgd en gerapporteerd worden (zie

Figuur 6). Het gros van de gerapporteerde recyclage cijfers ligt tussen de 95 en 100%, omdat de rapportage gebeurt op basis van het gewicht van een inzamelcategorie die verwerkt wordt in een recyclageproces. Het vastleggen van haalbare inzamel- en recyclagedoelstellingen in functie van andere duurzaamheidsdoelstellingen dient uiteraard te gebeuren op basis van een bestaande situatie, die daarvoor eerst in kaart gebracht moet worden. Deze studie tracht hiertoe bij te dragen. Vervolgens moet het ook mogelijk zijn om de voortgang periodiek op te volgen. Het heeft daarom weinig zin om nieuwe of verdere inzamel- en recyclagedoelstellingen op te leggen op basis van de huidige categorisatie(s).

Mogelijke acties: Opdeling van (A)EEA in categorieën die relevant zijn in het kader van een duurzaam materialenbeleid. De aanwezigheid van bepaalde onderdelen (magneten, schermen, bepaalde types plastics, specifieke legeringen of composieten, printplaten,…) kan hierbij een onderscheidend element zijn.

7.3.2.2 Databeschikbaarheid

De beperkte beschikbaarheid van relevante data loopt als een rode draad doorheen de studie. Er is weliswaar een veelheid van product- en inzamelcategorieën, maar de relevantie hiervan in de context van een duurzaam materialenbeleid is niet altijd even hoog, zoals hierboven geschetst. Anderzijds is de resolutie van de gegevens niet toereikend. Over de verdeling van product- en inzamelcategorieën over verschillende apparaattypes is zo goed als geen informatie beschikbaar,

terwijl ook de gegevens over de materiaalsamenstelling van zowel de categorieën als van de daarin aanwezige apparaattypes zeer fragmentarisch is. Nog moeilijker wordt het wanneer de duurzaamheidsevaluatie cijfergegevens vereist omtrent de aanwezigheid van onderdelen met hoge gehaltes en/of concentraties aan kritieke materialen en de materiaalsamenstelling van die onderdelen. In dit laatste geval worden zelfs de standaardafwijkingen weergegeven in een logaritmische schaal, wat hun bruikbaarheid voor het bepalen of opvolgen van recyclagedoelstellingen minimaal maakt.

Aan de outputzijde van het recyclagesysteem is de informatie nog schaarser en nog meer fragmentarisch. De rapportage van outputfracties en hun bestemming op basis van Europese afvalcodes laat niet toe de eindbestemming en kwaliteit van de opnieuw als functioneel materiaal toepasbare eindproducten van het recyclageproces te bepalen (zie 0). Een groot deel van de in Europa gerecupereerde plastics krijgt een eindbestemming na verdere verwerking in China, waarover de grootste onduidelijkheid bestaat. De haalbaarheid van doelstellingen voor de recyclage van plastics wordt uitgebreid bestudeerd door Plastic recyclers Europe (2013).[118] Een van de aanbevelingen betreft het opleggen van recyclagedoelstellingen per type plastic.

Mogelijke acties: Prioritair is het uitvoeren van de nodige analyses om te komen tot een coherente database, zowel op input- als outputniveau. Voor het bepalen van nieuwe inzamel- en recyclagedoelstellingen zijn periodieke, recente, coherente en vooral regionale analysegegevens onontbeerlijk. Dergelijke analyses kunnen uitgevoerd worden samenwerkingsverbanden over regio's met een gelijkaardig consumptiepatroon en/of een vergelijkbaar recyclagesysteem. Aan de outputzijde van het AEEA recyclagesysteem kan het stroomlijnen of harmoniseren van de rapportage in Eural afvalcodes met bijvoorbeeld de ISRI specs (zie 4) aanleiding geven tot nieuwe gegevens en inzichten.

7.3.2.3 Kritieke materialen

Hoewel er intuïtief aangenomen wordt dat er een belangrijk potentieel schuilt in de terugwinning van kritieke materialen kunnen er toch wat kanttekeningen gemaakt worden bij deze veronderstelling. Zo wordt er nogal licht vergeten dat ook bulkmetalen een zekere kriticiteit hebben op Europees niveau, met name door hun economisch belang. Daarom is ook de hoogwaardige recyclage van bijvoorbeeld laaggelegeerd staal relevant in een context van kriticiteit. Meestal worden met de term 'kritieke materialen' elementen geassocieerd zoals germanium, gallium, indium, tantalium, kobalt, tin, antimoon, en zeldzame aarden. Het effect van een verhoogde recyclage van deze elementen op verschillende duurzaamheidsaspecten is echter moeilijk vast te stellen, om verschillende redenen:

- **Gewicht**: Deze 'conventionele' kritieke materialen zijn in lage gehaltes en/of concentraties aanwezig in AEEA, meer bepaald in specifieke onderdelen van bepaalde apparaattypes. Over deze gehaltes/concentraties in onderdelen is weinig informatie beschikbaar, terwijl over het aandeel van dergelijke onderdelen in bepaalde apparaattypes de gegevens nog zeldzamer zijn. Zoals hoger vermeld is de verdeling van apparaattypes over een bepaalde product- of inzamelcategorie meestal ook niet gekend, zodat het in de praktijk onmogelijk is om een verband te leggen tussen de bestaande inzamelcategorieën en hun gehalte aan kritieke materialen.

- **Milieu-impact**: Voor de meeste materialen kan bewezen worden dat de milieu-impact van de vermeden ontginning vele malen groter is dan die van de recyclage. De recyclagetechnologieën voor verschillende van de 'conventionele' kritieke materialen zijn echter nog in ontwikkeling en/of worden nog niet op commerciële schaal toegepast. Het kan dan ook niet aangetoond worden dat de milieu-impact van de vermeden primaire productie (als die al gekend is) een goede indicator is voor de door recyclage vermeden milieu-impacts. Het terugwinnen van bijvoorbeeld legeringselementen en zeldzame aarden is alleszins materiaal- en energie-intensief.
- **Kringloopsluiting (waarde**): Door het gebrek aan recyclage-activiteiten op commerciële schaal, is de eventuele waarde van gerecycleerde 'conventionele' kritieke materialen moeilijk te bepalen.

Hoewel vele, maar niet alle, 'conventionele' kritieke materialen een grote waarde hebben per eenheid van gewicht, is door het lage gehalte hun kostprijs in een bepaald EEA of EEA-onderdeel meestal zeer beperkt (bvb. 1 dollarcent aan iridium en 17 dollarcent aan indium per vierkante meter scherm, of een ruim ingeschatte 70.000 euro aan neodymium in alle Vlaamse voor verwerking aangeboden laptops en smartphones). Tegelijkertijd is de complexiteit en de energie- en materiaalintensiteit van een eventuele recyclage aanzienlijk. Zoals in deze studie wordt beschreven is bovendien zowel de waarde als het gehalte/concentratie van sommige kritieke materialen in AEEA dalend. Tenslotte werd de hier gebruikte kriticiteit bepaald vanuit een Europees perspectief, dat vermoedelijk niet zondermeer overdraagbaar is naar de Vlaamse economische context van vraag- en aanbod.

Uit het bovenstaande mag blijken dat in de huidige stand van zaken de duurzaamheidseffecten van de recyclage van 'conventionele' kritieke materialen maar zeer moeilijk bepaald kunnen worden. Het is ook niet zeker dat deze effecten overwegend positief zijn.

Mogelijke acties: Het bundelen en analyseren van de resultaten uit de tal van lopende (Europese) onderzoeksprojecten over (technologieën voor) de recyclage van kritieke materialen, kan meer duidelijkheid en inzicht bieden in de duurzaamheidseffecten ervan. In het kader van toekomstige beleidsbeslissingen kan onderzocht worden in welke mate welke materialen kritiek zijn voor de Vlaamse economie. Kosten-batenanalyses van de recyclage van kritieke materialen zijn onontbeerlijk.

Een veranderend kader van duurzaam materialenbeleid, waarbij aspecten als kringloopsluiting, het vermijden van milieu-impacts, en het terugwinnen van kritieke materialen aan belang winnen, vraagt niet alleen de ontwikkeling, implementatie en integratie van recyclagetechnologieën, maar een volledige aanpassing van het recyclagesysteem.

Om de ontwikkeling van dergelijk systeem op een gepaste manier te kunnen sturen, zijn nieuwe inzamel- en recyclagedoestellingen onontbeerlijk. Opdat dergelijke doelstellingen zinvol, coherent, relevant en haalbaar zouden zijn is een nieuw evaluatiekader nodig. Concreet betekent dit een aangepaste categorisatie van AEEA, het uitvoeren van analyses op AEEA stromen, en het opvolgen van onderzoek naar de (effecten van) de recyclage van kritieke materialen.

Om de recyclage van op voorhand geselecteerde kritieke materialen ook economisch haalbaar te maken is, omwille van de beperkte absolute hoeveelheden, internationale samenwerking en schaalvergroting van de inzamel- en verwerkingsactiviteiten nodig.

Tenslotte is geen van de hier besproken kritieke materialen overwegend aanwezig in AEEA, zodat recyclagedoelstellingen die uitsluitend betrekking hebben op AEEA, of op bepaalde van de huidige categorieën, in dit verband minder zinvol zijn.

8. Referenties

ADEME (2005). Caractérisation des plastiques contenus dans les DEEE et état des lieux de la valorisation de ces plastiques.

ADEME (2010). Étude du potentiel de recyclage de certains métaux rares.

Atherton, J. (2007). Declaration by the Metals Industry on recycling Principles. Int J LCA 12 (1), p.59-60.

Bandara, H. M. D., Darcy, J. W., Apelian, D., Emmert, M. H. (2014). Value Analysis of Neodymium Content in Shredder Feed: Towards Enabling the Feasibility of Rare Earth Magnet Recycling. Environ. Sci. Techn. 2014, 48, 6553-6560.

Bardsley Consulting: DOE SSL Manufacturing Workshop, April 2009

Berekend als single score impacts, met ReCiPe Endpoint (H/A Europe) V1.07. en inventory data uit EcoInvent 2.0

Bergsma, G., Sevenster, M. (2013). End-of-life best approach for allocating recycling benefits in LCAs of metal packaging. CE Delft.

Bhuyan, D. (2013). Phase transition and structural studies of symmetric liquid crystal dimers. North Eastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST).

Bigum, M., Brogaard, L., Chistensen, T. (2012). Metal recovery from high grade WEEE: A life cycle assessment. Journal of Hazardous Materials 207-208, 8-14.

Bigum, M., Brogaard, L., Chistensen, T. (2012). Metal recovery from high grade WEEE: A life cycle assessment. J. Hazard. Mater. 207-208, 8-14.

Boin, U.M.J. and Bertram, M. (2005). Melting Standardized Aluminum Scrap: A Mass Balance Model for Europe.

Bristøl, L.M.L. (2012). Characterization and recovery of rare earth elements from electronic scrap. Department of Materials Science and Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

Broca, M. (2012). 'Less is more' : Pathways for Lower Steel Stocks in Developing Countries - An assessment of leapfrogging potentials in transportation. Master thesis. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology.

Chancerel, P. (2010). Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment – An assessment of the recovery of gold and palladium. Doctoral thesis, Technische Universitaet Berlin, Germany.

Chancerel, P. (2010). Substance flow analysis of the recycling of small waste electrical and electronic equipment - An assessment of the recovery of gold and palladium. Technische Universität Berlin, Fakultät III – Prozesswissenschaften.

Chancerel, P., Meskers, C.E.M., Hagelüken, C. and Rotter V.S. (2009). Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. Journal of Industrial Ecology. 13(5): 791-810.

Chancerel, P., Rotter, V.S., Ueberschaar, M., Marwede, M., Nissen, N.F., Lang, K.D. (2013). Data availability and the need for research to localize, quantify and recycle critical metals in information technology, telecommunication and consumer equipment. Waste Manag Res. 2013 Oct;31(10 Suppl):3-16. doi: 10.1177/0734242X13499814

Court, P. (2011). Study into the feasibility of protecting and recovering critical raw materials through infrastructure development in the south east of England. European Pathway to Zero Waste (EP0W).

DEFRA (2007). Trial to determine WEEE Protocol for category one large domestic appliances.

Dubreuil, A., Young, S.B., Atherton, J., Gloria, T.P. (2010). Metals recycling maps and allocation procedures in life cycle assessment. Int J LCA 15:621-634.

Ellen McArthur Foundation (2012). Towards the Circular Economy.

European Aluminium Association (2007). Aluminium recycling in LCA.

European Commission (2010). Annex V to the Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Directorate General Enterprise and Industry.

European Commission (2010). Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials. Enterprise and Industry Directorate General.

European commission (2014). Annexes to the report on critical raw materials for the EU, Report of the ad hoc working group on defining critical raw materials.

European Commission's Joint Research Centre (2012). Product Environmental Footprint Guide - consolidated version.

Forschungsinstitut Edelmetalle und Metallchemie and Institut für Energie- und Umwelttechnik (2011). Metallurgische Rückgewinnung von Indium, Gallium und Germanium aus Elektronikschrott und Entwicklung entsprechender Aufarbeitungsmethoden für die Verwertungsindustrie. Schwäbisch Gmünd & Duisburg.

Frees, N. (2008) Crediting aluminium recycling in LCA by demand or by disposal. Int J LCA 13 (3) 212-218.

Fujii, H., Nagaiwa, T (2005). How to quantify the environmental profile of stainless steel. SETAC.

Gabriel R. (2011). WF_RepTool user manual, ‘reporter level 2011’, version 3.4. WEEE-forum.

Goodship, V. and Stevels, A. (2012). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook. Woodhead Publishing series in electronic and optical materials (Number 30). Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.

Hagelüken, C. (2006); Recycling of Electronic Scrap at Umicore's Integrated Metals Smelter and Refinery. World of Metallurgy – Erzmetall, vol. 59(3), pp. 152 – 161.

Hagelüken, Christian (2012). Recycling the Platinum Group Metals: A European Perspective. Platinum Metals Review, vol. 56 (1), pgs. 29–35, Johnson Matthey.

Haig, S., Morrish, L. and Morton, R. (2012). Electrical Product Material composition, WRAP.

Hischier, R., Wäger, P., Gauglhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). Environ. Impact Assess. Rev. 25, 525-539.

Hu Bing Zhu et al. (2012). Study on Method of Recycling Liquid Crystal from Waste LCD Based on Supercritical CO2 Fluid Technology. Advanced Materials Research, 479-481, 2165

Huisman, J. (2013). Massabalans en marktstructuur van (A)EEA in België. Eindrapport in opdracht van Recupel. FFact Management Consultants, United Nations University, Institute for Sustainability and Peace, Delft.

Huisman, J., Magalini, F., Kuehr, R., Maurer, C., Delgado, C., Artim, E. Szlezak, J., Ogilvie, S., Poll, J., Stevels, A. (2007), 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Final Report, United Nations University, AEA Technology, Gaiker, Regional Environmental Centre for Central and Eastern Europe, Delft University of Technology, for the European Commission, Study No. 07010401/2006/442493/ETU/G4, August 2007

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) (2001). Reference Document on Best Available Techniques in the Non Ferrous Metals Industries.

ISSF. http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html

Jofre, S., Morioka, T. (2005). Waste management of electric and electronic equipment: comparative analysis of end-of-life strategies. Journal of Material Cycles and Waste Management 7:24–32.

JRC IPTS (2007). Assessment of the environmental advantages and disadvantages of polymer recovery processes.

Lezing van Arnold Tucker op The Second Trilateral EU-Japan-US Conference on Critical Materials, 28-29 maart 2012, Tokio, Japan. Beschikbaar op www.tno.nl, geraadpleegd op 30/04/2014

Luda, M.P. (2011). Recycling of Printed Circuit Boards, Integrated Waste Management - Volume II, Mr. Sunil Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-307-447-4, InTech, DOI: 10.5772/17220. Available from: http://www.intechopen.com/books/integrated-waste-management-volume-ii/recycling-of-printed-circuit-boards.

Mudgal, S., Lyons, L., Bain, J. et al. (2011). Plastic Waste in the Environment – Revised Final Report for European Commission DG ENV.

Oakdene Hollins (2010). Lanthanide Resources and Alternatives.

Oko-Institut e.V. (2011). Study on Rare Earths and Their Recycling. Final Report for The Greens/EFA Group in the European Parliament.

Öko-Institut e.V. (2012). Recycling critical raw materials from waste electronic equipment. Darmstadt, February 2012.

Peck, P. (2003). Interest in Material Cycle Closure? Exploring evolution of industry's responses to highgrade recycling from an Industrial Ecology perspective. Volume II – Case Studies. Doctoral dissertation. Lund University.

Peeters, J. R., P. Vanegas, et al. (2013). Product Clustering for Closed Loop Recycling of Flame Retardant Plastics: A Case Study for Flat Screen TVs. Re-engineering Manufacturing for Sustainability, Springer: 383-388

Plastic Recyclers Europe (2013). Study on increased mechanical recycling target for plastics. Final Report.

Recupel (2012). Recupel Rapport 2012 Vlaanderen.

Reuter, M.A., van Schaik, A. (2012). Opportunities and Limits of WEEE Recycling – Recommendations to Product Design from a Recyclers Perspective. In: Proceedings of Electronics Goes Green 2012+, 9-12 September 2012, Berlin, Germany.

Scharnhorst, W., Althaus, H.-J., Hilty, L.M., Jolliet, O. (2006). Environmental assessment of end-of-life treatment options for a GSM 900 Antenna Rack. Int. J. LCA 11(6), 425-436.

Steel Recycling Institute (2010). The inherent recycled content of today's steel. https://www.silgancontainers.com/uploads/pdfs/inherent_recycled_content_2010.pdf

U.S. Geological Survey (2010). Mineral commodity Summaries, Rare Earths, January 2010.

UNEP (2011). Recycling Rates of Metals – A Status Report, A Report of the Working Group on the Global Flows to the International Resource Panel- Graedel, T.E.: Alwood, J.; Birat, J.-P.; Buchert, M.; Hagelüken, C.; Reck, B.K.; Sibley, S.F.; Sonnemann, G.

UNEP (2013) Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M. A.; Hudson, C.; van Schaik, A.; Heiskanen, K.; Meskers, C.; Hagelüken, C.

USGS Fact Sheet FS-060-01. http://pubs.usgs.gov/fs/fs060-01/fs060-01.pdf

Van Schaik A., Reuter, M.A. (2010). Dynamic modelling of E-waste Recycling system performance based on product design. Minerals Engineering, vol. 23, pp. 192 – 210.

Van Schaik, A. (2011). Kwantificering kritische grondstoffen in E-waste producten (in commission of Vereniging NVMP). Wecycle, Nederland.

Vanegas, P., Peeters, J.R., Devoldere, T., Cattrysse, D., Duflou, J.R. (2012). Closed loop recycling of Philips TV housing plastics, In: Proceedings of i-SUP 2012 International Conference – Innovation for Sustainable Production, Bruges, Belgium.

VROM-inspectie (2010). Recycling elektrische en elektronische apparaten. Den Haag, Netherlands.

Wäger, P. (2011). Scarce metals: Applications, supply risks and need for action. Not. Polit. XXVII (104), 57-66.

Wäger, P., Schluep, M. and Müller, E. (2010). RoHS Substances in Mixed Plastics from Waste Electrical and Electronic Equipment. St. Gallen, Switserland.

Wang, H., Hou, T. (2011). A Study of Elevated Temperatures on the Strength Properties of LCD Glass Powder Cement Mortars, Integrated Waste Management - Volume I, Mr. Sunil Kumar (Ed.)

WRAP (2008). LCA of management options for mixed waste plastics. Waste & Resources Action Programme, MDP017, London.

WRAP (2009). WEEE Separation techniques, Visys Multi Frequency Laser trial report. Project MDD018/23

WRAP (2013). Market Flow Model of Electronic Products.

Yamaguchi, K., Ohara, T., Ueda, S. and Takeda, Y. (2006). Copper Enrichment of Iron-Base Alloy Scraps by Phase Separation in Liquid Fe-Cu-P and Fe-Cu-P-C Systems, Materials Transactions, Vol. 47, No. 7 (2006) pp. 1864-1868.

Yellishetty, M., Mudd, G.M., Ranjith, P.G., Tharumarajah, A. (2011). Environmental life-cycle comparisons of steel production and recycling: sustainability issues, problems and prospects. Environmental Science & Policy 14: 650-663.

BIJLAGE 1

Tabel 35: UNU keys en inzamelcategorieën

UNU Key	Primary Collection Category	Full name	Abbreviation	# of Subkeys	# of Product types	WEEE Forum KF/ UNU WEEE Review (17)	Wecycle 2013 # keys	Median Lifespan Equipement sold in 2005
1	F PROF LHA	0001 PROF Central Heat (HH installed central heating on gas)	0001 PROF Central Heating	4	8	1A LHHA	1	12,7
101	F PROF LHA	0101 PROF Heating & Ventilation (excl. cooling eq.)	0101 PROF Heating & Vent.	3	18	1A LHHA	3	14,6
102	A LHA	0102 LHA Dishwashing (dishwashers)	0102 LHA Dishwashing	1	1	1A LHHA	1	10,5
103	A LHA	0103 LHA Kitchen (large furnaces, ovens, cooking equipm.)	0103 LHA Kitchen	3	6	1A LHHA	1	15,6
104	A LHA	0104 LHA Washing (washing machines&combined dryers)	0104 LHA Washing Machines	2	2	1A LHHA	1	10,3
105	A LHA	0105 LHA Drying (wash dryers, centrifuges)	0105 LHA Wash Dryers	2	2	1A LHHA	1	14,3
106	A LHA	0106 LHA Room (large HH room heating & ventilation, hoods)	0106 LHA Heating & vent.	3	19	1A LHHA	1	11,2
107	A LHA	0107 LHA Sun (sunbeds & tanning equipment)	0107 LHA Sunbeds	1	3	1A LHHA	1	8,8
108	B C&F	0108 C&F Fridge (fridges for food, wine, ice, etc.)	0108 C&F Fridges	3	3	1B C&F	1	14
109	B C&F	0109 C&F Freezer (freezers for food, ice, etc.)	0109 C&F Freezers	1	1	1B C&F	1	17,4
110	B C&F	0110 C&F Combi (combi fridge- reezers, food, wine, ice, etc.)	0110 C&F Combi-fridges	1	1	1B C&F	1	17,1
111	B C&F	0111 C&F Aircon (HH installed airconditioners)	0111 C&F HH Aircon	3	13	1B C&F	1	12,8
112	B C&F	0112 C&F Other (dehumidifiers, heat pump dryers, etc.)	0112 C&F Other Cooling	2	3	1B C&F	1	11,7
113	F PROF C&F	0113 PROF C&F (Prof. aircons, cooling displays, etc)	0113 PROF C&F	5	15	1B C&F	3	17,8
114	C SHA	0114 SHA Microwaves ((combined) microwaves, excl. grills)	0114 SHA Microwaves	2	2	1C SLHA	1	9,4
201	C SHA	0201 SHA Other (small ventilators, irons, clocks, adapters, etc.)	0201 SHA Other	8	26	2 SHA	3	6,2
202	C SHA	0202 SHA Food (kitchen, food processing, frying pans, etc.)	0202 SHA Food	6	56	2 SHA	3	9,5
203	C SHA	0203 SHA Hot water (coffee, tea, hot water, etc.)	0203 SHA Hot water	4	15	2 SHA	1	6,5
204	C SHA	0204 SHA Vacuum cleaners (excl. professional ones)	0204 SHA Vac.Cleaners	2	4	2 SHA	1	8
205	C SHA	0205 SHA Personal Care (tooth brushes, hair, razors, etc.)	0205 SHA Personal Care	8	28	2 SHA	1	8,1
301	G IT	0301 IT Small (other small IT, incl components & acces.)	0301 IT Small IT & acces.	9	19	3A IT	2	4,4
302	G IT	0302 IT Desktop PCs (excl. monitor, accessoires)	0302 IT Desktop PC's	1	1	3A IT	1	7,2
303	G IT	0303 IT Laptop PCs (laptops, notebooks, netbooks, tablets)	0303 IT Laptop PC's	4	4	3A IT	2	5,3
304	G IT	0304 IT Printers (printing & imaging, scanners, MFS, faxes)	0304 IT Printers	7	10	3A IT	1	8,3
305	G IT	0305 IT Phones (telephones & equipment, DECT phones)	0305 IT Telecom	3	7	3A IT	1	5,5
306	G IT	0306 IT Mobile phones (mobile phones, smartphones, pagers)	0306 IT Mobile phones	3	3	3A IT	1	5
307	F PROF IT	0307 PROF IT (large IT, servers, routers, data storage, copiers)	0307 PROF IT	6	8	3A IT	1	6,1
308	D Screens CRT	0308 SCREENS CRT monitors (cathode ray tube mon.)	0308 SCREENS CRT Mon.	1	1	3B IT CRT	1	11
309	D Screens LCD	0309 SCREENS Flat Display Panel Monitors (LCD, LED monitors)	0309 SCREENS LCD Mon.	3	4	3C IT FDP	1	7,4
401	C SHA	0401 SHA CE (other, headphones, adapters, remote controls)	0401 SHA Small CE & acces.	5	5	4A CE	0	8,1
402	C SHA	0402 SHA Portable Audio/ Video (MP3, e-readers, car nav., etc)	0402 SHA Portable AV	7	13	4A CE	1	5,1
403	C SHA	0403 SHA Radio & Hifi (audio sets, components, etc.)	0403 SHA Radio & Hifi	5	17	4A CE	1	13,1
404	C SHA	0404 SHA Video (VCR,DVD(R), Blue Ray, Decoders, etc.)	0404 SHA Video	6	15	4A CE	0	8,4
405	C SHA	0405 SHA Speakers	0405 SHA Speakers	2	3	4A CE	0	8,5
406	C SHA	0406 SHA Cameras (camcorders, foto&dig. still cameras)	0406 SHA Cameras	2	4	4A CE	0	6,3
407	D Screens CRT	0407 SCREENS CRT TVs	0407 SCREENS CRT TVs	1	1	4B CRT	1	11,1
408	D Screens LCD	0408 SCREENS Flat Display Panel TVs (LCD, LED, PDP)	0408 SCREENS LCD TVs	3	9	4C FDP	1	10
501	C SHA	0501 SHA Lamps (pocket, christmas, halogen, ex. LED & incand.)	0501 SHA Other Lamps	3	3	5B Lum	0	6,8
502	E Lamps	0502 LAMPS CFL (compact fluorescent, retro & non-retro)	0502 LAMPS CFL	2	2	5A Lamps	2	6,6
503	E Lamps	0503 LAMPS TL (straight tube fluorescent lamps)	0503 LAMPS TL	2	2	5A Lamps	1	11,7
504	E Lamps	0504 LAMPS Special (Hg, high & low pres. Na, other prof. lamps)	0504 LAMPS PROF Special	4	4	5A Lamps	1	5,5
505	E Lamps	0505 LAMPS LED (incl. retrofit lamps, HH LED luminaires)	0505 LAMPS LED	2	2	5A Lamps	2	
506	C SHA	0506 SHA Luminaires (incl HH incandescant fittings)	0506 SHA Luminaires	2	11	5B Lum	1	14,60
507	A LHA	0507 PROF Luminaires (all lum. offices, public space, industry)	0507 PROF Luminaires	2	2	5B Lum	4	
601	C SHA	0601 SHA Tools (all HH saws, drills, cleaning, garden, etc.)	0601 SHA Tools	9	83	6 Tools	1	9,30
602	F PROF Tools	0602 PROF Tools (Professional tools, excl. dual use)	0602 PROF Tools	7	36	6 Tools	1	13,8
701	C SHA	0701 SHA Toys (small toys, vehicles, small music)	0701 SHA Toys	3	3	7 Toys	2	3,6
702	G IT	0702 SHA Game Consoles (video games and consoles)	0702 SHA Game Consoles	4	4	7 Toys	1	3,5
703	C SHA	0703 LHA Toys (exercising, large music instr.)	0703 LHA Toys	3	17	7 Toys	2	10
801	C SHA	0801 SHA Medical (small HH thermom., blood pressure meters)	0801 SHA Medical	1	52	8 Medical	0	11,4
802	F PROF Med	0802 PROF medical (hospital, dentist, diagnostics, etc.)	0802 PROF medical	1	47	8 Medical	3	11,7
901	C SHA	0901 SHA Monitoring (alarm, heat, smoke, security, ex. screens)	0901 SHA Monitoring	2	28	9 M&C	1	14,7
902	F Prof Mon	0902 PROF Monitoring (Prof. M&C, garage, diagnostic, etc.)	0902 PROF Monitoring	1	7	9 M&C	1	9,6
1001	F PROF LHA	1001 PROF Dispensers (non-cooled vending, coffee, tickets, etc.)	1001 PROF Disp. non-cooled	1	4	10 Disp	2	8,5
1002	F PROF C&F	1002 PROF Dispensers (cooled vending, bottles, candy, etc.)	1002 PROF Disp. cooled	1	3	10 Disp	3	8,5

BIJLAGE 2

Tabel 36: Gedetailleerde materiaalsamenstelling EEA op de markt gebracht in Vlaanderen in ton voor 2011

	KV	GW	OVE	OVE-IT	TVM	LMP	TOTAAL
Glas/inerten/andere							
Glass (white)	154	404	32	-	2.085	-	2.675
Glass (high quality)	-	-	-	-	-	1.212	1.212
Glass (low quality)	-	-	-	-	-	105	105
Glass (LCD)	-	-	1	14	51	-	66
CRT-glass cone	-	-	-	-	-	-	-
CRT-glass screen	-	-	-	-	-	-	-
Ceramics	-	38	88	70	142	6	344
Other/inerts	227	11.953	656	280	72	-	13.189
Subtotaal	381	12.395	776	365	2.350	1.322	17.589
Bulk/basismetalen							
Al (general)	678	913	1.326	203	639	85	3.844
Fe	4.240	5	2.957	281	1.372	-	8.855
Stainless steel	540	910	1.141	180	-	5	2.776
Steel low alloyed	8.867	29.493	20.154	8.649	2.339	24	69.525
Cu	518	1.741	5.889	557	338	28	9.070
Sn	-	26	12	14	6	-	57
Sn (in HT solder)	-	-	-	-	-	1	1
Zn	-	8	16	14	8	-	45
Pb	-	1	8	4	5	-	17
Pb(in HT solder)	-	-	-	-	-	1	1
Ni	-	0	25	11	2	-	38
Subtotaal	14.843	33.095	31.528	9.913	4.709	143	94.230
Edelmetalen							
Ag	-	0,01	0,39	1,68	0,26	-	2,34
Au	-	0,00	0,05	0,28	0,08	-	0,41
Pd	-	0,00	0,01	0,11	0,02	-	0,14
Subtotaal	-	0,01	0,46	2,06	0,35	-	2,89
Speciale metalen							
Sb	-	0,05	0,84	0,67	0,27	-	1,82
Co	-	-	3,25	0,95	-	-	4,19
Bi	-	-	0,19	0,17	-	-	0,36
Subtotaal	-	0,05	4,28	1,78	0,27	-	6,38
Gevaarlijke stoffen							
Hg	0,00	-	0,00	0,00	0,03	0,07	0,09
Cyclopentane	25,39	-	-	-	-	-	25,39
Isobutaan	5,94	-	-	-	-	-	5,94

CFC11	132,35	-	-	-	-	-	132,35
CFC12	52,51	-	-	-	-	-	52,51
As	-	-	-	0,00	-	-	0,00
PCB	0,00	0,71	0,02	-	-	-	0,73
Oil	110,74	1,68	26,17	-	-	-	138,60
Br	-	-	1,56	5,18	-	-	6,74
Cd	-	-	13,46	0,74	-	-	14,19
Cl	-	-	3,82	0,04	-	-	3,85
Subtotaal	326,93	2,40	45,02	5,96	0,03	0,07	380,40
plastics/kunstharsen							
ABS	-	-	-	-	1.452	-	1.452
PET	-	-	-	-	12	-	12
PE (HD)	-	-	-	-	62	-	62
PS (HI)	-	-	2	-	-	-	2
PS (polystyrene)	1.437	-	-	-	-	-	1.437
PUR	2.026	169	3	-	-	-	2.199
PVC	13	192	80	30	103	-	417
Plastics general	1.761	8.538	15.845	4.342	1.768	26	32.280
Other plastics	-	-	19	3	-	-	22
Epoxy	-	-	76	-	-	-	76
Subtotaal	5.237	8.899	16.025	4.375	3.398	26	37.960
Andere							
Be	-	-	0	0	-	-	0
Cr	-	0	0	2	0	-	3
Fluorescent powder (excl. Hg)	-	-	-	-	-	25	25
Liquid Crystals	-	-	-	0,84	-	-	0,84
Mn	-	-	0	0	-	-	0
PWB Lamps	-	-	-	-	-	13	13
Subtotaal	-	0	0	3	0	38	42
Organische stoffen							
Wood	-	-	1.420	-	-	-	1.420
Subtotaal	-	-	1.420	-	-	-	1.420
Totaal	20.787	54.391	49.800	14.666	10.457	1.530	151.631

BIJLAGE 3

Tabel 37: Gedetailleerde materiaalsamenstelling vrijkomend AEEA in Vlaanderen in ton in 2011

	KV	GW	OVE	OVE-IT	TVM	LMP	TOTAAL
Glas/inerten/andere							
Glass (white)	115	325	25	-	79	-	544
Glass (high quality)	-	-	-	-	-	1.010	1.010
Glass (low quality)	-	-	-	-	-	87	87
Glass (LCD)	-	-	1	12	2	-	14
CRT-glass cone	-	-	-	-	3.928	-	3.928
CRT-glass screen	-	-	-	-	7.883	-	7.883
Ceramics	-	30	70	62	320	5	487
Other/inerts	169	9.599	524	246	313	-	10.851
Subtotaal	**284**	**9.954**	**620**	**320**	**12.523**	**1.102**	**24.804**
Bulk/basismetalen							
Al (general)	505	733	1.059	179	232	71	2.779
Fe	3.160	4	2.363	247	482	-	6.256
Stainless steel	403	730	912	158	-	4	2.207
Steel low alloyed	6.610	23.684	16.102	7.596	320	20	54.331
Cu	386	1.398	4.705	489	739	23	7.741
Sn	-	21	9	12	7	-	49
Sn (in HT solder)	-	-	-	-	-	1	1
Zn	-	6	13	12	12	-	43
Pb	-	1	7	3	18	-	28
Pb(in HT solder)	-	-	-	-	-	0	0
Ni	-	0	20	10	9	-	38
Subtotaal	**11.064**	**26.577**	**25.190**	**8.706**	**1.818**	**120**	**73.474**
Edelmetalen							
Ag	-	0,01	0,31	1,48	1,43	-	3,23
Au	-	0,00	0,04	0,24	0,09	-	0,38
Pd	-	0,00	0,01	0,09	0,04	-	0,14
Subtotaal	**-**	**0,01**	**0,37**	**1,81**	**1,56**	**-**	**3,75**
Speciale metalen							
Sb	-	0,04	0,67	0,58	3,92	-	5,22
Co	-	-	2,59	0,83	0,17	-	3,59
Bi	-	-	0,15	0,15	0,64	-	0,94
Subtotaal	**-**	**0,04**	**3,42**	**1,56**	**4,73**	**-**	**9,75**
Gevaarlijke stoffen							
Hg	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06
Cyclopentane	18,93	-	-	-	-	-	18,93
Isobutaan	4,43	-	-	-	-	-	4,43

CFC11	98,65	-	-	-	-	-	98,65
CFC12	39,14	-	-	-	-	-	39,14
As	-	-	-	0,00	-	-	0,00
PCB	0,00	0,57	0,01	-	-	-	0,59
Oil	82,55	1,35	20,91	-	-	-	104,81
Br	-	-	1,24	4,55	11,73	-	17,52
Cd	-	-	10,75	0,65	-	-	11,40
Cl	-	-	3,05	0,03	1,94	-	5,02
Subtotaal	**243,69**	**1,92**	**35,97**	**5,23**	**13,67**	**0,06**	**300,54**
plastics/kunstharsen							
ABS	-	-	-	-	1.923	-	1.923
PET	-	-	-	-	0	-	0
PE (HD)	-	-	-	-	2	-	2
PS (HI)	-	-	1	-	-	-	1
PS (polystyrene)	1.071	-	-	-	-	-	1.071
PUR	1.510	136	3	-	-	-	1.649
PVC	10	154	64	26	74	-	328
Plastics general	1.313	6.856	12.660	3.813	1.458	22	26.122
Other plastics	-	-	15	3	-	-	18
Epoxy	-	-	61	-	346	-	408
Subtotaal	**3.903**	**7.146**	**12.804**	**3.843**	**3.804**	**22**	**31.522**
Andere							
Be	-	-	0	0	-	-	0
Cr	-	0	0	2	3	-	5
Fluorescent powder (excl. Hg)	-	-	-	-	-	21	21
Liquid Crystals	-	-	-	0,74	-	-	0,74
Mn	-	-	0	0	-	-	0
PWB Lamps	-	-	-	-	-	11	11
Subtotaal	**-**	**0**	**0**	**3**	**3**	**32**	**38**
Organische stoffen							
Wood	-	-	1.135	-	515	-	1.649
Subtotaal	**-**	**-**	**1.135**	**-**	**515**	**-**	**1.649**
Totaal	**15.495**	**43.679**	**39.789**	**12.880**	**18.683**	**1.275**	**131.801**

BIJLAGE 4

Tabel 38: Samenstellingsgegevens GW en OVE-IT, als % van totaal gewicht[123], uit Huisman et al. (2007)[7]

Materiaal	GW	OVE-IT
Ag	0,000015%	0,011461%
Al (general)	1,68%	1,39%
Au	0,0000035%	0,0018863%
Be		0,00012%
Bi		0,0011%
Br		0,035%
Cd		0,0050%
Ceramics	0,069%	0,48%
Cl		0,00024%
Co		0,0064%
Cr	0,0000092%	0,015%
Cu	3,20%	3,80%
Fe	0,0091%	1,9174%
Glass (white)	0,74%	
Hg		0,0000013%
Glass (LCD)		0,10%
Liquid Crystals		0,0057%
Mn		0,00036%
Ni	0,000046%	0,075215%
Oil	0,0031%	
Other/ inerts	21,98%	1,91%
Other plastics		0,023%
Pb	0,0014%	0,0253%
PCB	0,0013%	
Pd	0,0000018%	0,0007163%
Plastics general	15,70%	29,61%
PUR	0,31%	
PVC	0,35%	0,21%
Sb	0,000083%	0,004537%
Sn	0,047%	0,095%
Stainless steel	1,67%	1,23%
Steel low alloyed	54,22%	58,98%
Zn	0,014%	0,095%
Total	**100,00%**	**100,00%**

[123] Voor elk materiaal afgerond tot op twee beduidende cijfers na de komma van het kleinste percentage

BIJLAGE 5

Tabel 39: Prijzen van primaire en gerecycleerde materialen, met bronvermelding

Material virgin	bron	€/ton
Ag	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=silver&currency=eur (prijs december 2013)	460077,2
Al(general)	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=aluminum&months=60&currency=eur (prijs voor december 2013)	1270,07
As	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	1134,52
Au	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=gold&months=60&currency=eur (prijs december 2013)	28737945
Be	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	823543,4
Bi	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	14050,87
Br	http://www.indmin.com/Article/3288770/Search/Results/Bromine-prices-edge-up-in-China.html?Keywords=bromine&RequiredFields=PUBLICATION_ID%3a696	2,29548
Cd	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	2030,41
Ceramics		10
Cl	http://www.alibaba.com/product-gs/1492242440/chlorine.html?s=p	666
Co	http://www.lme.com/metals/minor-metals/cobalt/ (prijs december 2013 voor 'cash buyer')	19423,15
Cr	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	7331,08
Cu	http://www.lme.com/metals/non-ferrous/copper/#tab3	5425,31
Epoxy		0
Fe	http://www.worldsteelprices.com/, EU Carbon steel price, HR Coil, June 2012	521
Glass(white)	(schatting PRIME)	150
Hg	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	63483,57
Glass(LCD)	http://www.glas-platz.de/_dgdetail.htm (waarom gemiddelde dikte 3 mm genomen) http://www.alibaba.com/product-gs/1511236702/moderm_tempered_TV_screen_glass_anti.html	2466,667
LiquidCrystals	http://electronics.howstuffworks.com/lcd1.htm (waarom prijs voor liquid crystals in de 'nematic phase'); http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=16378837&refinementValue=19367018	7400000
Mn	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	1698,51

Ni	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=nickel&months=60&currency=eur (prijs december 2013)	10164,97
Oil	http://www.appliancepartspros.com/whirlpool-gear-case-oil-350572-ap3072960.html	48931,54
Other/inerts	http://www.ce.berkeley.edu/~paulmont/CE60New/intr%20_concrete.pdf	74
otherplastics	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php	1880
Pb	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=lead&months=60&currency=eur (prijs december 2013)	1559,82
PCB		0
Pd	http://www.kitconet.com	17648060
Plasticsgeneral		0
ABS	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php (gemiddelde prijs pellets december 2013)	1430
SAN	http://www.plasticsnews.com/resin/engineering-thermoplastics/current-pricing	2381,005
ABS-PC	http://www.plasticsnews.com/resin/commodity-thermoplastics/current-pricing	3373,09
PS	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php (gemiddelde prijs pellets december 2013)	1010
PC	http://www.plasticsnews.com/resin-pricing 19Nov2012	3100
PP	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php (gemiddelde prijs pellets december 2013)	980
PE	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php (gemiddelde prijs pellets december 2013)	890
andere plastics	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php	1880
PS(HI)		1010
PUR	http://www.alibaba.com/product-detail/commercial-refrigerator-polyurethane-foam-injection-machine_138176192.html (waarom voor 'ester type injection' gekozen); http://www.plasticsnews.com/resin/engineering-thermoplastics/current-pricing	4166,759
PVC	http://plasticker.de/preise/preise_monat_single_en.php (gemiddelde prijs regrind/flakes december 2013)	500
Sb	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	9315,5
Sn	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=tin&currency=eur (prijs december 2013)	16616,44
Stainlesssteel	http://www.worldsteelprices.com (prijs december 2013)	1934,36
Steellowalloyed	http://www.worldsteelprices.com (prijs september 2013)	462
Wood		0
Zn	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=zinc&currency=eur (prijs december 2013)	1441,74
Material recycled	**bron**	**€/ton**
Ag pure	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=silver&currency	460077,2

	=eur (prijs december 2013)	
Al-scrap	http://www.wrap.org.uk/content/metal-0	1049,2
Au pure	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=gold&months=60&currency=eur (prijs december 2013)	28737945
Cu-pure	http://www.lme.com/metals/non-ferrous/copper/#tab3	5425,31
Ni-pure	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=nickel&months=60&currency=eur (prijs december 2013)	10164,97
Inert mineral fraction	gratis afzet	
Pb-pure	http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=lead&months=60&currency=eur (prijs december 2013)	1559,82
Pd-pure	http://www.kitconet.com	17648060
Plastics -PP	http://www.plasticsnews.com/resin/recycled-plastics/current-pricing	980
Plastics -ABS	http://www.plasticsnews.com/resin/recycled-plastics/current-pricing	1366,873
Plastics -ABSPC		1366,873
Plastics -PS	http://www.plasticsnews.com/resin/recycled-plastics/current-pricing	1010
Plastics - PE	http://www.plasticsnews.com/resin/recycled-plastics/current-pricing	727,5293
Sb-pure	average nov-dec 2012 open market price op http://www.metalprices.com/annualTables/ReportOpenMarket	9315,5
Stainless scrap	http://www.wrap.org.uk/content/metal-0	854
steel-scrap	http://www.meps.co.uk/ScrapPrice.htm	253