

Het potentieel om kritieke grondstoffen  
uit de Nederlandse 'urban mine' terug  
te winnen

- een verkenning van afgedankte  
elektrische en elektronische  
apparatuur-



TNO 2024 R10519 – 11 June 2024

# Het potentieel om kritieke grondstoffen uit de Nederlandse ‘urban mine’ terug te winnen - een verkenning van afgedankte elektrische en elektronische apparatuur-

Auteur

Kieran Campbell-Johnston  
Sara Wieclawska  
Noortje Bonenkamp.  
Wieger Voskens  
Susanne van Berkum

contact Kieran Campbell-Johnston [kieran.campbell-johnston@tno.nl](mailto:kieran.campbell-johnston@tno.nl)

Susanne van Berkum [susanne.vanberkum@tno.nl](mailto:susanne.vanberkum@tno.nl)

Pagina's

75  
7

Met dank aan alle geïnterviewden die hebben meegewerkt aan dit onderzoek. Uw inzichten en gegevens hebben aanzienlijk bijgedragen aan de hierin gepresenteerde bevindingen.

#### Review

- Elmer Rietveld (TNO)
- Ton Bastein (TNO)
- Joost van de Griendt (TNO)
- René Eijsbouts (Stichting OPEN)

Met dank aan René Eijsbouts & Ralph Oudshoorn van Stichting OPEN voor de bijgedragen gegevens.

Met dank aan Kees Baldé van het United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) en het door Horizon Europe gefinancierde FutuRaM-project voor de aanvullende brainstorming en reflecties op het project.

Aanvullende gegevens zijn verstrekt door Umicore N.V., Indaver N.V.

**Alle rechten voorbehouden**

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

© 2024 TNO

## Contents

Contents .....	5
lijst van figuren .....	6
Lijst van tabellen.....	8
Managementsamenvatting .....	9
1 Inleiding .....	19
1.1 Context en uitdaging .....	19
1.2 Onderzoeksvragen.....	20
1.3 Leesgids .....	20
1.4 Belangrijkste definities en terminologie .....	20
2 Scope en aanpak.....	23
2.1 Onderzoeksscope .....	23
2.2 Aanpak en gegevens.....	24
3 Organisatie van AEEA-inzameling en recycling in Nederland.....	28
3.1 Beleid en governance van de inzameling en recycling van AEEA.....	28
3.2 Nederlandse (W)EEE-stromen.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4 Schatten van de hoeveelheden CRMs en SRMs binnen de Nederlandse AEEA.....	31
4.1 Hoeveelheden en distributie van CRM/SRMs binnen AEEA .....	31
4.2 Hoe verhoudt de hoeveelheid CRM/SRMs in AEEA zich tot de Europese vraag?.....	39
4.3 Welke elementen hebben het grootste potentieel om bij te dragen aan de doelstellingen van de EU CRM Act.....	41
5 Wat is er in de praktijk en wat zijn de mogelijkheden voor hetterugwinnen van CRMs/SRM? ...	43
5.1 De huidige praktijk en stromen van AEEA in Nederland .....	44
5.2 Barrières voor CRM/SRM-terugwinning uit AEEA, zoals waargenomen door recyclers en hotspots van componenten en materialen, die verder onderzocht moeten worden .....	51
6 Conclusies , aanbevelingen en volgende stappen.....	62
6.1 Conclusies.....	62
6.2 Aanbevelingen voor het vergroten van het CRM/SRM-terugwinning uit AEEA .....	63
6.3 Volgende stappen voor het ondersteunen van de ontwikkeling van de NMO.....	66
7 Bijlagen .....	68
7.1 CRMs: namen, symbolen en hoeveelheid aanwezig in de AEEA-categorieën .....	68
7.2 Categorieën en voorbeelden van de EU AEEA-richtlijn.....	70
7.3 Achtergrondinformatie over gebruikte databases.....	71
7.4 Interviewgids .....	74
7.5 Behoeften Nederlandse industrie 2015 vs. ProSum -gegevens .....	77
7.6 Discussie: welke andere indicatoren zijn relevant? .....	78
7.7 Schematische weergave van de recyclingactiviteiten voor lampen .....	83
8 Referenties .....	84

## lijst van figuren

Figuur 1 Definitie van het op de markt brengen, de voorraad en de gegenereerde en ingezamelde AEEA met betrekking tot het CRM/SRM-potentieel. Let op: PV verwijst naar zonnepanelen.....	10
Figuur 2 Hoeveelheden CRMs/SRMs in AEEA en hun bijdragepotentieel aan de vraag in de EU.....	12
Figuur 3 : Landen die het grootste deel van het mondiale aanbod van CRMs voor hun rekening nemen (Bobba et al., 2018) .....	19
Figuur 4 Schematische weergave van het voorraadstroommodel, waarbij de bijdrage van ongebruikte en kapotte artikelen in de voorraad wordt benadrukt.....	24
Figuur 5 Onderzoeksstappen en gebruikte data .....	25
Figuur 6 : Het EPR-systeem voor AEEA in Nederland. Bron (Campbell-Johnston et al., 2022). .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
Figuur 7 De geschatte levensduur van EEA in de EU. Bron (Forti et al., 2018).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Figuur 8 : Inzamel niveaus in de EU (gebaseerd op een driejarig gemiddelde) voor 2020 en de huidige EU-doelstellingen. Aangepast van bron (Eurostat, 2020).....	30
Figuur 9 Definitie van PoM , voorraad en gegenereerde en ingezamelde AEEA met betrekking tot CRM/SRM-potentieel. Let op: PV verwijst naar zonnepanelen.....	30
Figuur 10 : Afval gegenereerd in 2020: CRM per verschillende categorie (bron: Prosum ) .....	34
Figuur 11 : Vergelijking van de verspreiding en het volume van CRM/SRMs in AEEA (bron: Prosum ) .....	36
Figuur 12 : Trendanalyse van 2016-2020: alle AEEA-categorieën samen (bron: Prosum ) .....	37
Figuur 13 De positie van Nederland voor diverse CRMs/SRMs. Percelen met een zwarte cirkel zijn SRM, waarop de recyclingbenchmark van de CRM Act van toepassing zou kunnen zijn.....	40
Figuur 14 Road2Work-mix van AEEA-producten. Bron Sara Wieclawska TNO.....	46
Figuur 15 Voorbeeld van sorteren van mobiele telefoons bij recycler. Bron Sara Wieclawska TNO.....	46
Figuur 16 : De waardeketen voor de inzameling, sortering en nuttige toepassing van AEEA. Actoren worden geclassificeerd naargelang zij binnen of buiten Nederland gevestigd zijn.....	47
Figuur 17 : Het huidige recyclingpercentage aan het einde van de levensduur, bijvoorbeeld het percentage dat de huidige recycling bijdraagt aan de totale vraag naar een specifiek element. ( Bobba et al., 2018 ) .....	48
Figuur 18 : Sankey van terugwinningsstromen van AEEA in NL (productcategorieën, fracties/sorteercategorie en terugwinningsopties van verschillende componenten) .....	49
Figuur 19 : Huidig terugwinningsproces van Umicore België. CRM/SRMs worden teruggewonnen uit AEEA-fracties en PCB's. Gebruikt met toestemming van Umicore.....	50
Figuur 20 : Mogelijkheden voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning vanaf schermen en monitoren.....	52
Figuur 21 Kansen voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning vanuit Lampen .....	53
Figuur 22 : Mogelijkheden voor het vergroten van het CRM/SRM-terugwinning van grote apparatuur .....	54
Figuur 23 : Mogelijkheden voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning uit apparatuur voor temperatuuruitwisseling .....	55
Figuur 24 : Kansen voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning uit kleine IT- en telecommunicatieapparatuur.....	56

Figuur 25 Schematische weergave van de UNFC (Verenigde Naties. Economische Commissie voor Europa, 2019) ..... 57

Figuur 26 : Een overzicht van de verschillende analytische niveaus van deze studie. Bron (Huisman et al., 2017) ..... 71

Figuur 27 : overzicht van de EU-methodologie voor de beoordeling van de criticiteit..... 73

Figuur 28 : Bubble plot, vergelijking van prijs, absoluut bedrag en spreiding voor de verschillende soorten CRM (bron: Prosum )..... 81

Figuur 29 : Trendanalyse van 2016-2020: trend vergelijken met waarde per kg en de grootste categorie voor elke CRM (bron: Prosum ) ..... 82

Figuur 30 : Behandelingsproces voor fluorescentielampen. Gebruikt met toestemming van Indaver NV. .... 83

Figuur 31 : Behandelingsproces voor alle overige lampen. Gebruikt met toestemming van Indaver NV ..... 83

## Lijst van tabellen

Tabel 1 AEEA-componenten en respectievelijk CRM/SRM-gebruik. ....	11
Tabel 2 Indicatie van componenten en materialen binnen AEEA waarop verdere verkenning moet worden gericht. ....	18
Tabel 3: de ontwikkeling van EEA die op de Nederlandse markt wordt gebracht. Bron ( Nationaal (W)EEE Register Rapport 2020, 2021) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4 Het Nederlandse inzamelingspercentage voor AEEA in 2020. (Bron: Nationaal (W)EEE Register Rapport 2020, 2021).....	29
Tabel 5 AEEA-componenten en CRM/SRMs .....	33
Tabel 6 Veronderstelde marktwaarde voor CRM/SRMs binnen Nederlandse AEEA.....	37
Tabel 7 Kandidaat-elementen voor verder onderzoek naar de rol van Nederland in dekking van de EU-behoefte .....	41
Tabel 8 Geschat tekort tussen geproduceerd afval en ingezamelde AEEA.....	44
Tabel 9 : Potentiële CRM/SRM-terugwinningsmogelijkheden uit AEEA.....	60
Tabel 10 : SRMs die zouden kunnen bijdragen aan de recyclingambitie van de CRM Act van 25%.....	61
Tabel 11 CRM/SRM-component en materiële hotspots voor verdere verkenning .....	66
Tabel 12 : concepttabel met criteria voor CRM-terugwinning .....	78
Tabel 13 : geschatte prijzen per kilogram voor kritische grondstoffen.....	80



## Managementsamenvatting

Dit rapport presenteert de inzichten uit het onderzoek naar de implicaties van de Europese Critical Raw Materials Act (CRMA) voor Nederland met betrekking tot het recyclingpotentieel van de zogeheten 'urban mine' (de 'stedelijke mijn'). Concreet onderzoekt het de kansen voor de recycling van afval van elektrische en elektronische apparatuur (AEEA; in het Engels: WEEE, waste electric and electronic equipment).

De EU wordt geconfronteerd met een toenemende druk op kritieke hulpbronnen als gevolg van geopolitieke druk en het streven naar klimaatneutraliteit en de daarmee gepaard gaande behoefte aan energietransitietechnologie. Deze vraagstijging en de mondiale concurrentie onderstrepen het belang van het veiligstellen van kritieke grondstoffen (Critical Raw Materials CRMs) en strategische grondstoffen (Strategic Raw Materials, SRMs) die essentieel zijn voor sectoren als hernieuwbare energie en digitale technologie. CRMs zijn de grondstoffen die economisch het belangrijkste zijn en een hoog leveringsrisico met zich meebrengen, zoals kobalt (gebruikt voor batterijen) en neodymium (gebruikt in permanente magneten). SRMs zijn over het algemeen een reeks overlappende materialen. Ze zijn ook economisch belangrijk en kennen een hoog aanbodrisico. Alle SRMs die in dit onderzoek worden beschouwd, zijn CRMs, afgezien van koper en nikkel. De CRM-wet stelt benchmarks vast voor de winning (10%), verwerking (40%) en recycling (25%) in de EU om aan de jaarlijkse behoeften van de EU te voldoen. De recycling van 25% heeft betrekking op de totale hoeveelheden SRM. Daarnaast wordt de lidstaten gevraagd te rapporteren over de afzonderlijk geïdentificeerde hoeveelheden componenten die CRMs/SRMs uit AEEA bevatten.

Deze studie ondersteunt de ambitie van de Nederlandse overheid om een Nederlandse MaterialenObservatorium (NMO) op te zetten, en om de inspanningen te vergroten die kunnen leiden tot meer terugwinning van secundaire CRM/SRMs, afkomstig van AEEA.

### De onderzoeksvragen bij de start van dit project waren als volgt:

1. Welke CRMs en SRMs zijn aanwezig in de Nederlandse 'stedelijke mijn' (waar we ons richten op Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen)?
2. Welke kansen zijn er voor het terugwinnen of vergroten van de terugwinning van CRMs/SRMs uit Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen?
3. Welke nationale beleidsmaatregelen kunnen het herstel van CRMs/SRMs in Nederland verbeteren?

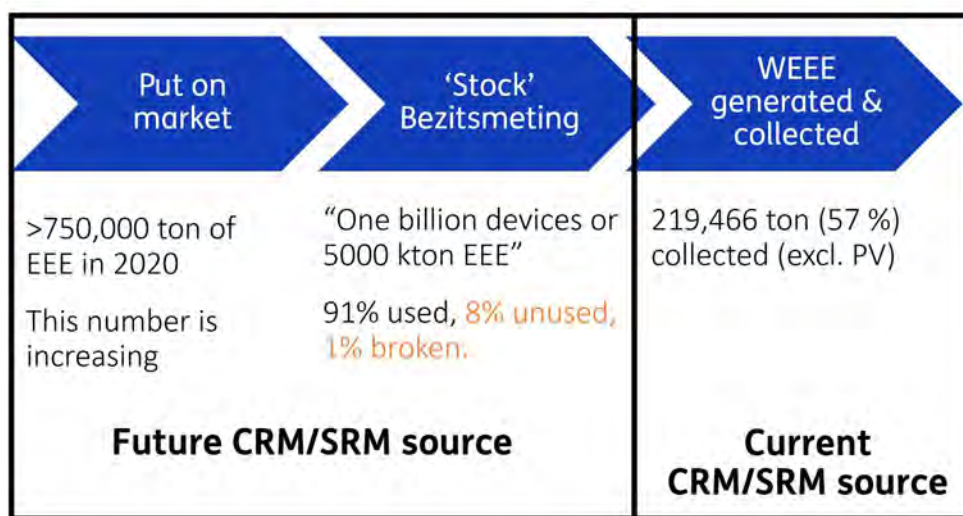
**Onderzoeksscope en aanpak :** Dit onderzoek richtte zich op de mogelijkheden voor het terugwinnen van CRMs/SRMs uit AEEA die in 2020 in Nederland wordt gegenereerd en ingezameld. Het richt zich niet op de totale voorraad, dat wil zeggen de artikelen die nog (gebruikt of ongebruikt) in huishoudens en bedrijven aanwezig zijn. Om CRMs/SRMs terug te winnen, moeten producten worden ingezameld en op de juiste manier worden gerecycled. Door ons te concentreren op het gegenereerde, ingezamelde afval en de bijbehorende recyclingpraktijken kunnen we daarom aantonen in hoeverre en *hoe* potentieel CRM/SRM-terugwinning kan plaatsvinden.

AEEA is onderverdeeld in zes productcategorieën die in dit onderzoek worden onderzocht: Schermen en monitoren, Lampen, Kleine apparatuur, Grote apparatuur, Temperatuuruitwisselingsapparatuur en Kleine IT en telecommunicatie.

Dit onderzoek combineerde AEEA-rapportagegegevens, CRM/SRM-databases (SCRREEN en ProSUM), wetenschappelijke literatuur, grijze literatuur en interviews en locatiebezoeken met recyclers om de hierboven geschetste vragen te onderzoeken. We concentreren ons op 2020 omdat dit het laatste jaar is waarin er nauwkeurige openbare gegevens beschikbaar zijn over CRMs/SRMs binnen AEEA.

**Beleid en organisatorische aanpak van AEEA in Nederland**

De inzameling en terugwinning van AEEA valt onder de AEEA-richtlijn van 2012. Deze richtlijn hanteert het beginsel van uitgebreide producentenverantwoordelijkheid (UPV, Engels: Extended Producer Responsibility EPR), waarbij alle producenten de inzameling en recycling van AEEA zodanig moeten organiseren dat tot 65% van het gewicht van de producten die op de markt worden gebracht wordt ingezameld. In Nederland vervult de Stichting OPEN deze verantwoordelijkheden namens de producenten (een definitie waartoe ook OEMs, distributeurs en importeurs behoren). In 2020 is ruim 750 kton elektronische en elektronische apparatuur (EEA) op de Nederlandse markt gebracht, waarbij de categorie Grote apparatuur (waaronder zonnepanelen) het grootste aandeel heeft. Nederlandse huishoudens en bedrijven beschikken over ruim een miljard elektronische apparaten (hetgeen neerkomt op circa 5000 kton), waarvan circa 91% wordt gebruikt. De (gemiddelde) levensduur van EEA is sterk afhankelijk van het type product. In 2020 was er naar schatting 412 kton AEEA in NL. Stichting OPEN zamelde 44% procent in (57% exclusief zonnepanelen). De mogelijkheden AEEA als bron voor CRMs in zetten wordt weergegeven in Figuur 1.





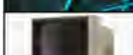




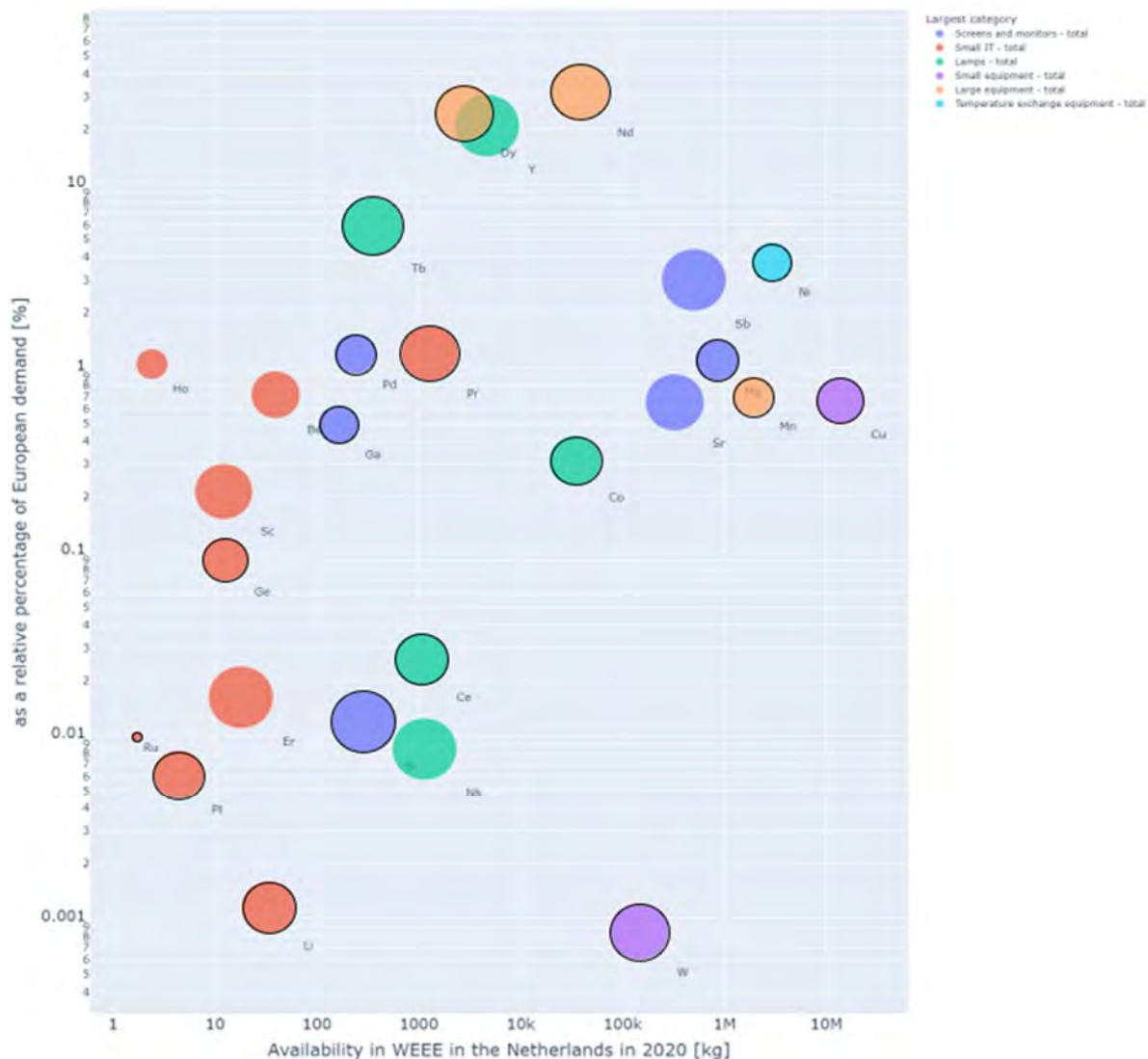
*Figuur 1 Definitie van het op de markt brengen, de voorraad en de gegenereerde en ingezamelde AEEA met betrekking tot het CRM/SRM-potentieel. Let op: PV verwijst naar zonnepanelen.*

**Geschatte hoeveelheden CRM/SRMs in AEEA en hun bijdrage aan de vraag in de EU**

Tabel 1 geeft een overzicht van de meest voorkomende toepassingen van CRMs/SRMs binnen EEA (Elektrische en elektronische apparatuur). Figuur 2 geeft een schatting van de hoeveelheden CRM/SRM in AEEA en hoe dit zich verhoudt tot de huidige jaarlijkse vraag in de EU. Op basis hiervan stellen we dat sommige CRMs/SRMs in AEEA het potentieel hebben om tot 31% aan de huidige EU-vraag bij te dragen. Bepaalde CRMs/SRMs zijn sterk geconcentreerd binnen specifieke productcategorieën, bijvoorbeeld Yttrium (element Y) in lampen of Dysprosium (Dy) in grote apparatuur.

Tabel 1AEEA-componenten en respectievelijk CRM/SRM-gebruik.

	Component	Sb	Cu	Ga	Sr	Ti	Ta	Nd	Pr	Dy	B	Eu	La	Tb	Mg
	Cables		X												
	PCBs		X	X	X	X	X								
	Magnets <sup>1</sup>							X	X	X	X				
	Luminescent materials				X						X	X	X	X	
	Glass <sup>2</sup>	X			X						X				
	Plastics <sup>2</sup>	X													
	Casing														X



Figuur 2 Hoeveelheden CRMs/SRMs in AEEA en hun bijdragepotentieel aan de vraag in de EU.

**Welke barrières en kansen zijn er voor het terugwinnen of vergroten van de terugwinning van CRM/SRM uit Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen?**

De inzameling en recycling van AEEA is goed georganiseerd, met een gedetailleerde en efficiënte inzameling, sortering, handmatige verwerking, mechanische verwerking en eindverwerking. Veel producten worden echter niet in het formele systeem ingezameld, waardoor veel producten verloren gaan. Bovendien omvat het bestaande rapportagesysteem geen monitoring van de hoeveelheid in AEEA aanwezige CRMs/SRMs, hoewel dit wel een vereiste wordt vanuit de CRMA. Momenteel wordt slechts één SRM (koper) officieel gerapporteerd aan Stichting OPEN, samen met andere grote gerecyclede fracties, bijvoorbeeld plastic, glas, aluminium, staal/ijzer enz. Uit interviews bleek ook dat verschillende CRMs/SRMs nu al worden teruggewonnen uit de definitieve terugwinningprocessen (koper, antimoon, nikkel, palladium uit gemengde AEEA-fracties en printplaten), maar dat dat niet wordt niet gerapporteerd in de officiële statistieken. Een groot deel van deze eindverwerking, dat wil zeggen het smelten of terugwinnen van materiaal, vindt buiten Nederland plaats, terwijl de handmatige en mechanische verwerking voornamelijk in Nederland plaatsvindt. Een belangrijke speler in de eindverwerking is het Belgische bedrijf Umicore, dat gemengde AEEA-fracties verwerkt.

Het terugwinnen van CRMs/SRMs uit AEEA wordt doorgaans belemmerd door een combinatie van beleidsmatige, data- en techno-economische belemmeringen. Ten eerste stimuleren de vereisten uit de AEEA-richtlijn op beleidsniveau de inzameling, terugwinning en rapportage van materialen op basis van gewicht. Dit beperkt de prikkel om CRMs/SRMs terug te winnen waarvoor de concentraties laag zijn of waarvoor geen directe business case bestaat. Ten tweede zijn er beperkte gegevens die de aanwezigheid en samenstelling van CRMs gedetailleerd beschrijven op het specifieke productniveau (bijvoorbeeld wasmachines) hoewel er op zich goede CRM/SRM-data bestaan op productcategorieniveau (bijvoorbeeld grote apparatuur. Dit gebrek aan informatie maakt het voor verwerkers een uitdaging om producten of specifieke componenten die mogelijk waardevolle concentraties CRM/SRM bevatten, correct te identificeren, scheiden of ontmantelen. Ten slotte is er de structurele combinatie van de beschikbaarheid van technologie om specifieke CRMs terug te winnen en de huidige kosten om dit te doen, in verhouding tot de marktprijs van CRMs. Deze combinatie van CRM-prijzen, beschikbare technologie, kennis van de samenstelling van producten en het heersende milieubeleid vermindert de prikkel om CRMs uit AEEA terug te winnen aanzienlijk. Deze aspecten moeten systematisch worden aangepakt om de recycling van CRMs/SRMs uit AEEA en de toepassing ervan in de EU-industrie te activeren.

Niettemin heeft dit onderzoek bepaalde vermoedelijke 'hotspots' van CRM/SRMs binnen AEEA geïdentificeerd in vijf van de zes productcategorieën, waarvan er vier mogelijkheden bieden voor SRM-terugwinning (zie

Tabel 2). De business case en de benodigde technologie moeten verder worden onderzocht om tot identificatie van daadwerkelijk potentieel te komen. Wij stellen voor om voor deze taak het United Nations Framework for the Classification of Resources (UNFC) te gebruiken.

### Conclusies en beleidsaanbevelingen voor het vergroten van de CRM/SRM-terugwinning uit AEEA

Dit onderzoek concludeert dat er mogelijkheden zijn voor het vergroten van de terugwinning van CRM/SRM uit AEEA die kunnen bijdragen aan de 25% recyclingbenchmark voor SRM, zoals die genoemd wordt in de CRM Act. CRM/SRMs komen in kleine hoeveelheden en verspreid over veel verschillende producten binnen AEEA voor. Bestaande regelgevende, economische en technologische factoren belemmeren de terugwinning. De sterke logistieke operatie rond de Nederlandse AEEA-sector, georganiseerd door Stichting OPEN, geeft aan dat er een goede kans is voor Nederland om een positie voor zichzelf te creëren als leverancier van bepaalde CRM/SRMs. Op basis van het onderzoek formuleren wij vier aanbevelingen.

- 1) **De exacte samenstelling van specifieke producten is onbekend, wat het voor beleidsmakers complex maakt om doelen voor terugwinning te stellen, maar ook voor recyclers om focus te aan te brengen.**
  - **Aanbeveling (beleid/NL):** Elke producent die een EEA-product naar Nederland brengt, moet bij Stichting OPEN aangeven welke CRMs in dit product zitten (naar voorbeeld van Frankrijk).
  - **Aanbeveling (beleid/NL):** Voor publieke transparantie moet er beter gebruik worden gemaakt van openbare databanken. Concreet moeten de databases van UNITAR worden gebruikt om de CRM/SRM-inhoud van voorraad- en afvalstromen te schatten en de NMO te ondersteunen met datamonitoring van de afvalstromen AEEA, EV en batterijen.
  - **Aanbeveling (beleid/NL):** Stichting OPEN en/of mechanische verwerkingsbedrijven moeten laboratoriumtests uitvoeren op producten en componenten die CRM/SRMs bevatten.
- 2) **Het beleid stimuleert momenteel alleen de terugwinning op basis van een verplichte rapportage over de totale massa aan materialen. Op deze manier wordt niet gestimuleerd om specifieke materialen terug te winnen die niet bijdragen aan dat gewicht, hoewel ze belangrijk of strategisch kunnen zijn.**
  - **Aanbeveling (beleid/EU):** Vergroot de transparantie en het detailniveau van de rapportage (zowel de hoeveelheid als de locatie van CRM/SRMs) van bedrijven, inclusief de smelterijen
  - **Aanbeveling (beleid/EU en NL):** Vergroot de prikkels voor het terugwinnen van materialen die in kleinere hoeveelheden voorkomen.
- 3) **Er is een hoeveelheid producten in huishoudens die niet in gebruik zijn, of die na afdanking niet afzonderlijk gesorteerd worden.**
  - **Aanbeveling (beleid/NL):** Stimuleer een betere verwijdering door consumenten en inzameling van producten die momenteel verloren gaan.
  - **Aanbeveling (beleid/NL):** Stimuleer een betere sortering van producten/componenten die CRMs bevatten →specifiek voor Stichting OPEN (zie Tabel 2 hieronder).
- 4) **Er is behoefte aan meer CRM-terugwinning in 2030: dit vereist een betere samenwerking van verschillende partijen, beter gecoördineerde kennis- en technologieontwikkeling en aangescherpte regelgeving en randvoorwaarden.**
  - **Aanbeveling (NL):** zorg voor een gecoördineerde routekaart die alle randvoorwaarden, R&D en waardeketenintegratie voor het terugwinnen van CRMs (uit meerdere afvalstromen) combineert.

- **Subaanbeveling** : CRMs om mee te beginnen uit AEEA hebben betrekking op specifieke productgroepen die in dit rapport worden beschreven, bijvoorbeeld Dy, Nd, Cu, enz. (zie

- Tabel 2)

#### **Volgende stappen ter ondersteuning van de ontwikkeling van het Netherlands Materials Observatory**

- 1) Het in kaart brengen van alle potentiële kritische materiaalbronnen uit meer afvalstromen. Hiervoor is samenwerking met UNITAR essentieel vanwege hun data. Daarnaast wordt een beoordeling gemaakt van het potentieel van deze verschillende stromen, inclusief de beste beschikbare praktijken op het gebied van inzamelingspercentages, terugwinning, behandeling en de beste beschikbare technologie in de hele EU27 ('benchmarking').
- 2) Organiseer 'deep dives' naar het ware potentieel van het terugwinnen van kritische materialen uit AEEA, te beginnen met de componenten en fracties die in



- 3) Tabel 2. Dit proces moet gebruik maken van het UNFC-raamwerk om het herstellpotentieel te definiëren.

Tabel 2 Indicatie van componenten en materialen binnen AEEA waarop verdere verkenning moet worden gericht.

Product category	Identifiable fraction / component	CRMs present or highly suspected	Main global supplier / producer	Contribution to EU annual consumption (sum of all WEEE categories)	Current Eu EoL recycling input rate (all EU waste sources)	Product put on market trend 2019-2023	TRL levels (estimated)
Large equipment	Magnets	Dy	China	24%	0%	+	4-6
		Nd		31%	1%		
Lamps	Magnets / LEDs	Co	DRC	0.3%	35%	+	/
	Fluorescent powders	Ce	China	0.3%	1%	-	1-3
		Tb	China	6%	22%	-	
Screens and Monitors	Aluminium fraction & FPD	Mg	China	1.1%	13%	+	/
		Mn	China/SA	0.7%	12%	+	
	LED	Ga	China	0.5%	0%	+	/
Small IT	Hard disk drives & magnets	Pr (Dy & Nd)	China	1.2%	10%	-	4-6
	Copper fraction	Cu	Chili	0.7%	55%	+	9

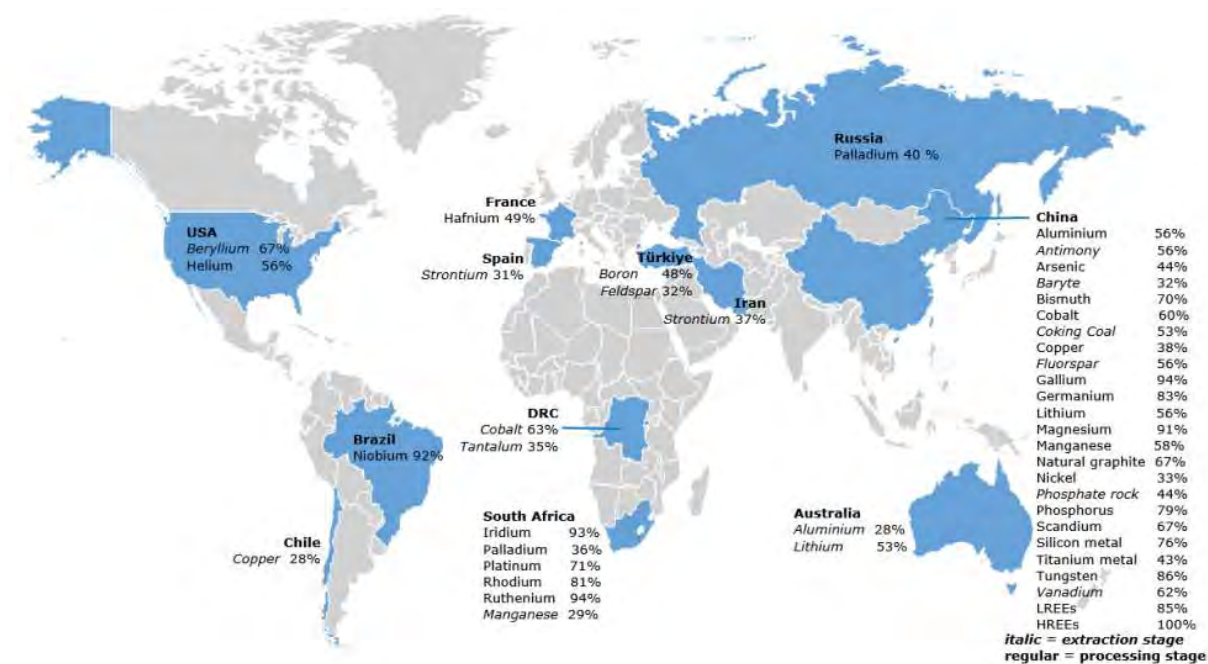
# 1 Inleiding

## 1.1 Context en uitdaging

Dit rapport vat de gegevens en inzichten samen die zijn verzameld om de vraag te beantwoorden welke kritische en strategische grondstoffen beschikbaar zijn voor winning uit de Nederlandse 'stedelijke mijn'. Concreet onderzoekt het de kansen die voortkomen uit één aspect van die stedelijke mijn: afval van elektrische en elektronische producten (AEEA).

De EU wordt geconfronteerd met een toenemende druk op vitale hulpbronnen als gevolg van geopolitieke factoren en de ontwikkeling van energietransitietechnologieën. Deze stijging van de vraag, naast de mondiale concurrentie, onderstreept het belang van het veiligstellen van kritieke grondstoffen (CRMs) die essentieel zijn voor sectoren als hernieuwbare energie en digitale technologie. Ondanks hun kleine hoeveelheden spelen CRMs en strategische grondstoffen (SRMs) een cruciale rol in verschillende sectoren. In bijlage 7.1 geven we een overzicht van de huidige lijst van strategische en kritieke grondstoffen.

In **Figuur 3** worden de belangrijkste mondiale producenten van de verschillende CRMs vermeld (Bobba et al., 2018; SCREEN, 2023). De afhankelijkheid van de EU van andere landen voor CRMs is duidelijk, waarbij China opkomt als de grootste leverancier voor veel belangrijke materialen, zoals zeldzame aardelementen (REE). Bovendien hebben specifieke landen zoals Rusland, Zuid-Afrika, Australië, de VS en Brazilië aanzienlijke mondiale aandelen in verschillende CRMs.



Figuur 3: Landen die het grootste deel van het mondiale aanbod van CRMs voor hun rekening nemen (Bobba et al., 2018)

De Critical Raw Materials (CRM) Act, die de Europese Commissie in 2023 heeft opgesteld, streeft naar een grotere strategische autonomie voor bepaalde materialen. De wet stelt dat de winning, verwerking en recycling in de EU tegen 2030 voor respectievelijk 10%, 40% en 25% moeten voorzien in de jaarlijkse behoeften van de EU. De EU-lidstaten zijn verplicht verslag uit te brengen over hun vorderingen in de richting van deze percentages.

In dit kader is het van belang om te weten welke rol Nederland kan spelen. Zijn er in Nederland voldoende CRMs en SRMs aanwezig in afgedankte goederen om bij te dragen aan deze benchmarks? Welke rol speelt terugwinning en recycling hierin nu al? En wat is er nodig om het eventuele potentieel te realiseren?

Om deze vragen te beantwoorden is een onderzoek uitgevoerd gericht op Nederlandse AEEA. AEEA is een belangrijke bron van CRMs en SRMs (Huisman et al., 2017). Bovendien roept de CRMA de lidstaten expliciet op om de hoeveelheden componenten die relevante CRMs bevatten afkomstig uit elektronisch afval, afzonderlijk te identificeren en te rapporteren (Europese Commissie, 2024). Om te begrijpen hoe de positie van Nederland op het gebied van secundaire CRMs en SRMs kan worden verbeterd, is het daarom van belang om te onderzoeken hoeveel CRMs en SRMs zich in AEEA bevinden, en of er mogelijkheden zijn om de terugwinning ervan te vergroten. We richten ons specifiek op de stroom van gegenereerde en dus beschikbare AEEA, en niet op de EEA die aanwezig is in huishoudens. Dit onderzoek heeft tevens tot doel het in 2024 op te zetten Nederlands Materialen Observatorium (NMO) te ondersteunen, door diepgaande inzichten te verschaffen in de kansen die voortvloeien uit het terugwinnen van CRM/SRMs uit e-waste.

## 1.2 Onderzoeksvragen

De rest van dit rapport moet de volgende drie vragen beantwoorden:

1. Welke CRMs en SRMs zijn aanwezig in de Nederlandse 'stedelijke mijn' (waar we ons richten op Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen)?
  - a. Welke productgroepen bevatten de meeste CRMs en SRMs en hoe zijn deze SRMs en CRMs verdeeld over deze productgroepen?
  - b. In welke vormen en voor welke doeleinden worden de CRMs/SRMs gebruikt?
  - c. Hoeveel materialen hebben we vergeleken met de Europese vraag?
  - d. Gebaseerd op a) en b): welke materialen zijn interessant om verder te verkennen?
2. Welke kansen zijn er voor het terugwinnen of vergroten van de terugwinning van CRMs/SRMs uit Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen?
  - a. Wat is de huidige praktijk en status van het beheer van afgedankte elektronica in Nederland?
  - b. Welke CRMs/SRMs worden al teruggewonnen?
  - c. Wat zijn knelpunten voor (aanvullende) terugwinning?
3. Welke nationale beleidsmaatregelen kunnen de terugwinning van CRMs/SRMs in Nederland verbeteren?

## 1.3 Leesgids

Dit rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 leggen we de reikwijdte van dit project uit en introduceren we de aanpak waarmee we het hebben uitgevoerd. Hoofdstuk 3 beschrijft hoe de inzameling en recycling van AEEA in Nederland is georganiseerd. In hoofdstuk 4 onderzoeken we welke hoeveelheden CRMs en SRMs aanwezig zijn in Nederlandse AEEA. In hoofdstuk 5 bekijken we de terugwinningsmogelijkheden voor deze CRMs en SRMs en onderzoeken we de huidige stand van zaken op het gebied van CRM/SRM-terugwinning uit AEEA in Nederland. In Hoofdstuk 6 geven we conclusies, aanbevelingen voor het vergroten van het CRM/SRM-terugwinning en aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

## 1.4 Belangrijkste definities en terminologie

Voordat we in de gegevens duiken, geven we enkele belangrijke definities en begrippen mee:

Begrip	Definities en uitleg	Bron
<b>Kritieke grondstoffen (CRMs)</b>	“Die grondstoffen die economisch het belangrijkste zijn en een hoog leveringsrisico hebben”. De specifieke materialen worden verzameld in een lijst die het niveau van economisch belang en het niveau van het leveringsrisico aangeeft. Sinds 2011 zijn er vier van dergelijke lijsten gepubliceerd. In dit onderzoek worden de CRMs gebruikt zoals beschreven in de CRM-lijst 2020. Dit onderzoek werd uitgevoerd voordat de verordening van 2024 van kracht werd en maakte daarom gebruik van de definities uit de mededeling van 2023.	(Europese Commissie, 2023)
<b>Strategische grondstoffen (SRMs)</b>	De mededeling uit 2023 voor de CRM-wet definieerde verder een reeks van 16 strategische grondstoffen (SRMs), die ook een niveau van economisch belang en/of een hoog aanbodrisico hebben. Alle SRMs vallen onder de CRM-lijst, behalve Koper en Nikkel (CRMA). De geselecteerde CRMs en SRMs, zoals gekozen binnen de reikwijdte van het EZK-project, zijn weergegeven in bijlage 7.1	(Europese Commissie, 2023)
<b>EEE</b>	'EEE' is een afkorting voor 'elektrische en elektronische apparatuur'. Dit zijn producten die afhankelijk zijn van elektrische stromen of elektromagnetische velden om goed te kunnen werken, en apparatuur voor het opwekken, overbrengen en meten van dergelijke stromen en velden, en ontworpen voor gebruik met een spanning van niet meer dan 1 000 volt voor wisselstroom en 1 500 volt voor wisselstroom. Gelijktroom"	(AEEA-richtlijn, 2012)
<b>AEEA</b>	'AEEA' is de afkorting van 'afgedankte elektrische en elektronische apparatuur' en omvat elektrische of elektronische apparatuur die afval is in de zin van artikel 3, lid 1, van Richtlijn 2008/98/EG (zie de definitie van EEA), inclusief alle componenten, subassemblages en verbruiksartikelen die deel uitmaken van het product op het moment dat het wordt weggegooid"	(AEEA-richtlijn, 2012)
<b>POM</b>	Aantal producten dat jaarlijks op de markt wordt gebracht of wordt verkocht aan consumenten, bedrijven en organisaties	(Huisman et al., 2017)
<b>Voorraad</b>	De producten die in huishoudens, bedrijven en organisaties worden gebruikt of opgeslagen (ongebruikt of kapot) voordat ze worden weggegooid.	(Huisman et al., 2017)
<b>Gerapporteerde collectie</b>	De hoeveelheid die wordt gerapporteerd als ingezameld en gerecycled binnen het systeem voor uitgebreide producentenverantwoordelijkheid.	(Huisman et al., 2017)
<b>Afval geproduceerd</b>	De geschatte hoeveelheid afval (waaronder eventueel gebruikte producten) die de voorraad verlaat nadat deze is weggegooid.	(Huisman et al., 2017)
<b>(Theoretische) positie van Nederland</b>	De CRM Act stelt een maatstaf voor het voldoen aan 25% van de EU-vraag door middel van recycling. Hier definiëren we de (theoretische) positie van Nederland als de hoeveelheid totale EU-vraag naar een specifiek CRM/SRM waaraan kan worden voldaan als al dat element uit AEEA wordt teruggewonnen. Dit is een theoretisch bedrag: sommige van deze elementen kunnen in de praktijk niet worden teruggewonnen. In het	Gegevensbron voor de totale EU-vraag voor elk CRM: EU-factsheets SCREEN  Gegevensbron voor de totale CRM-beschikbaarheid

	tweede deel van dit werk wordt gekeken naar het praktisch realiseerbare bedrag.	binnen AEEA: ProSUM stedelijke mijndatabase
<b>Smelten</b>	Smelten is een methode voor het winnen van pure metalen uit ertsen en mineralen, met behulp van energie, chemicaliën, gassen en druk.	(Speciale metalen, 2024)

## 2 Scope en aanpak

In dit deel schetsen we de scope en aanpak van dit onderzoek.

### 2.1 Onderzoeksscope

De eerste stap in het verkennen van de levensvatbaarheid van de 'urban mine' en de potentiële positie van Nederland is het definiëren van het exacte onderzoeksgebied. In het huidige onderzoek hebben we ervoor gekozen om ons te concentreren op een selectie van alle potentiële productgroepen, met als belangrijkste parameters voor de scoping:

1. Producten die CRMs en SRMs bevatten,
2. Producten waarvoor momenteel goede, betrouwbare en gedetailleerde data beschikbaar zijn
3. Producten die worden beheerd door professionele afvalbeheerorganisaties om lacunes in de gegevens op te vullen

Op basis van de bovengenoemde criteria beperken we ons tot elektronica en elektrische apparatuur, of beter gezegd 'EEA'<sup>1</sup>. De redenering hierachter is als volgt:

- 1) Het is bewezen dat de categorie EEA variërende hoeveelheden CRMs omvat (Huisman et al., 2017), maar de momenteel teruggewonnen hoeveelheden lijken relatief laag.
- 2) Er zijn gegevens beschikbaar met schattingen over de samenstelling van de producten in deze groep. Het ProSUM- project had tot doel een gecentraliseerde database te creëren voor alle beschikbare gegevens en informatie over de voorraden, stromen en het gegenereerde afval van afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA), batterijen en elektrische voertuigen (EV). Dit omvat schattingen van de materiaal- en elementaire samenstelling van de producten (zie Huisman et al., 2017 voor een link naar de database). De categorieën EV en batterijen worden in dit rapport nu niet meegenomen en komen voor latere verkenning in het NMO in aanmerking. De reden hiervoor is dat deze afvalstromen onderworpen zijn aan EU-wetgeving die prioriteit geeft aan de terugwinning van CRM, terwijl de AEEA-wetgeving momenteel dat niet doet.
- 3) Daarnaast werkt TNO samen met Stichting OPEN, een non-profitorganisatie die de inzameling en recycling van alle AEEA in Nederland organiseert. Hun netwerk is belangrijk om lacunes in de gegevens op te vullen en inzicht te krijgen in de praktische problemen bij het terugwinnen van AEEA (zie hoofdstuk 3 en 5).
- 4) Onder de scope van AEEA vallen ook zonnepanelen, aangezien deze onderdeel zijn van de productcategorie 'Grote apparatuur'. Hoewel ze in grote volumes op de markt worden gebracht, worden er (nu) slechts zeer beperkte hoeveelheden ingezameld omdat zonnepanelen een lange levensduur hebben. Windturbines vallen niet onder de scope; deze categorie is recent door TNO onderzocht (van der Meulen et al., 2020).

**Zes productcategorieën** uit de AEEA-richtlijn houden-op basis van publieke bronnen- verband met de toepassing van CRMs. Een lijst van elk van de producten in deze categorieën vindt u in bijlage 7.2. De zes categorieën zijn:

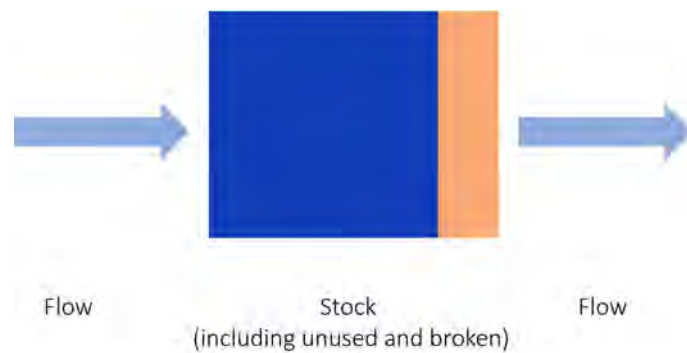
- Schermen en monitoren;
- Lampen;
- Kleine apparatuur;
- Grote apparatuur;
- Apparatuur voor temperatuuruitwisseling;
- Kleine IT en telecommunicatie.

---

<sup>1</sup> Vanwege de manier waarop deze productgroep is geclassificeerd onder de EU-afvalrapportage, omvatten EEA en AEEA bovendien de productgroep 'zonnepaneelsystemen', voortaan PV genoemd.

Omdat AEEA een zeer complexe afvalcategorie is, is het doel van dit project bovendien om voor de NMO de basis te leggen voor continue activiteiten op het gebied van recyclingactiviteiten binnen de urban mine. In de toekomst kan in het kader van de activiteiten van het NMO onderzoek worden gedaan naar overige productcategorieën zoals batterijen en EV.

Vervolgens hebben we naast de productcategorie ook gekeken naar de levenscyclus van producten en materialen en de invloed op terugwinningspotentieel. Wanneer EEA op de markt wordt gebracht, ontstaat er een stroom producten naar de voorraad in huishoudens en bedrijven. De voorraad omvat producten die in gebruik zijn, maar ook kapotte en ongebruikte producten. De eindstroom bestaat uit de producten die het einde van hun levensduur bereiken en vertegenwoordigen de gegenereerde AEEA, zie Figuur 4. Omdat producten elk een andere levensduur hebben en producten als ongebruikt of kapot in de voorraad kunnen blijven liggen, zijn deze producten niet toegankelijk. Daarom hebben wij ons gefocust op de producten die de voorraad verlaten en dus 'geogst' kunnen worden. Bij producten die de voorraad verlaten kan potentieel CRM-terugwinning plaatsvinden; Daarom concentreren we ons in het rapport op het beschikbare AEEA en de beleids-, organisatorische en recyclingdynamiek daaromheen.

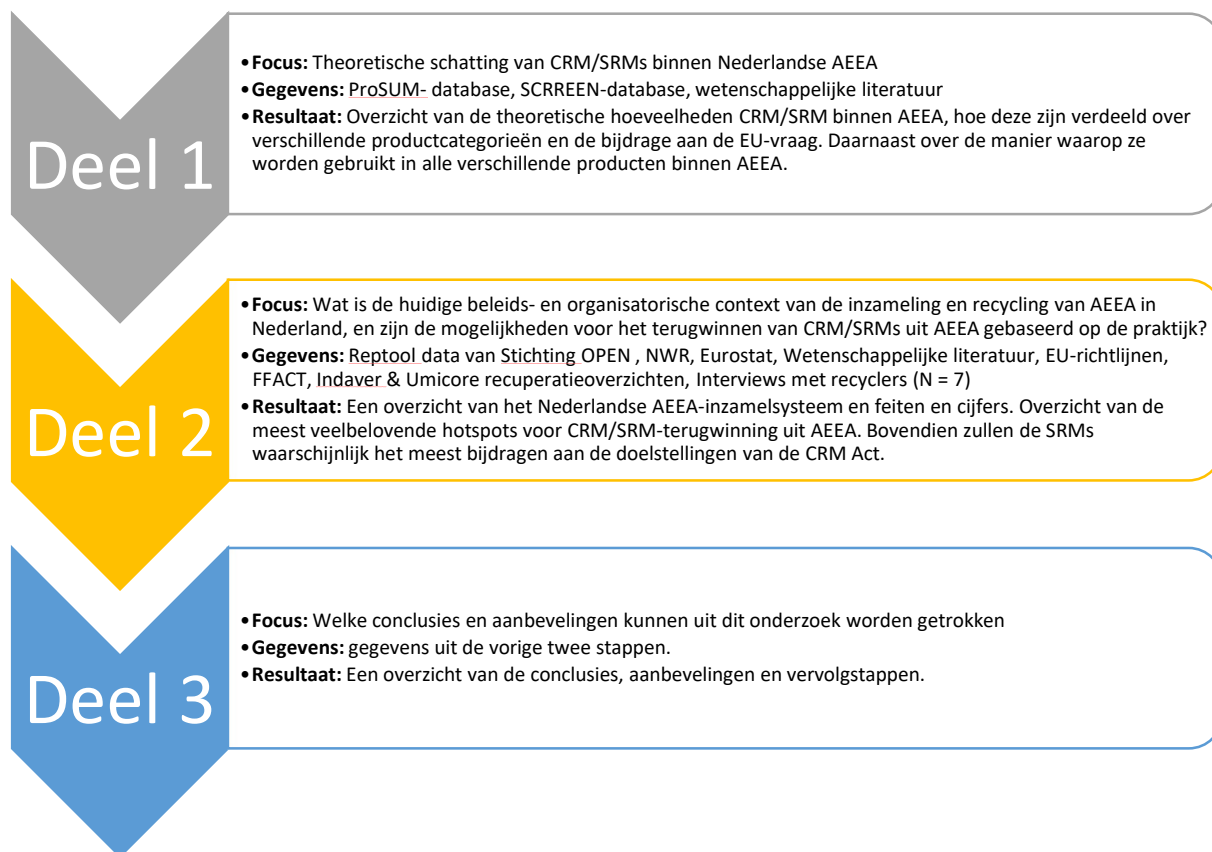


*Figuur 4 Schematische weergave van het voorraadstroommodel, waarbij de bijdrage van ongebruikte en kapotte artikelen in de voorraad wordt benadrukt.*

## 2.2 Aanpak en gegevens

In dit onderzoek volgden we een aanpak in drie stappen, waarbij we kwantitatieve CRM/SRM-gegevens over AEEA-stromen, wetenschappelijke en grijze literatuur combineerden met interviews met recyclers om de vragen uit hoofdstuk 1 te beantwoorden.





Figuur 5 Onderzoeksstappen en gebruikte data

Het project is in **deel 1** gestart met een bureauonderzoek om de hoofdvraag te beantwoorden welke CRMs/SRMs theoretisch beschikbaar zijn in Nederlandse AEEA. In deze fase werd een overzicht samengesteld van de CRMs/SRMs die beschikbaar zijn in AEEA, hoe deze zijn verdeeld over verschillende productcategorieën en de belangrijkste toepassingen van CRM/SRM binnen AEEA, bijvoorbeeld als legeringen of als onderdeel van componenten. Ten slotte werden de (theoretisch) beschikbare hoeveelheden in Nederlandse AEEA vergeleken met de CRM-behoefte van de EU.

Voor dit overzicht hebben we gegevens uit de online database ProSUM gebruikt en gekeken naar gegevens over in Nederland aanwezige CRMs/SRMs afkomstig uit de zes AEEA-productcategorieën die voor het jaar 2020 zijn geschat. Deze gegevens omvatten zowel huishoudelijk als bedrijfsafval. De ProSUM-database is de beste publiek beschikbare database en bevat de meest gedetailleerde informatie over de samenstelling van AEEA, zowel op productcategorieniveau als op componentniveau. De ProSUM-database combineert publieke data, chemische analyses van afvalstromen en private data over productsamenstelling om voorraden en stromen te modelleren. Er worden meer gedetailleerde gegevens op producttypeniveau en actuele informatie vastgelegd, maar deze zijn niet openbaar toegankelijk. Een overzicht van de beschikbare gegevens, hun kwaliteit en beperkingen vindt u in bijlage 7.3.1. We erkennen de beperking van het gebruik van *voorspelde* gegevens uit 2020 en stellen dat de combinatie van rapportagegegevens en wetenschappelijke gegevens in combinatie met laboratoriumrapportage de meest uitgebreide database tot nu toe biedt om de CRMs en SRMs in Nederland te onderzoeken. De ProSUM-gegevens bevatten geen gegevens over CRMs/SRMs in batterijen in AEEA. Deze vallen onder een aparte EU-richtlijn en worden eveneens handmatig gescheiden en apart verwerkt. Om die reden zijn batterijen een aparte dataset in de ProSUM database.

Dit rapport richt zich op het gegenereerde en ingezamelde afval, niet op het afval dat in 'voorraad' wordt gehouden. Wat echter belangrijk is om op te merken is dat de door AEEA *gegenereerde* hoeveelheden CRMs/SRMs hoger zijn dan de *ingezamelde AEEA*. Deze mismatch van gegevens wordt behandeld in paragraaf 5.1. Een directe reflectie over 'gegevenskwaliteit' op deze plaats is de behoefte aan nauwkeurigere en bijgewerkte gegevens over CRM-stromen binnen AEEA, inclusief schattingen over toekomstige stromen (zie hoofdstuk 6.2d).

Gegevens over de aanwezigheid van CRMs/SRMs werden gecontextualiseerd met behulp van informatie uit het SCRREEN-project dat informatie opleverde over markt, vraag en aanbod en gegevens over lange tijdreeksen (SCRREEN, 2023). Daarnaast is er een gericht literatuuronderzoek gestart waarbij verkennend onderzoek is gedaan met behulp van de online AI-software ChatGPT. De beoordeling was gebaseerd op openbare gegevens gedeeld door OEM's, wetenschappelijke literatuur en de Reptool-gegevens van Stichting OPEN. Uit de gegevens van Reptool blijkt welke materiaalstromen worden gerapporteerd, maar er is geen specifieke samenstelling opgenomen. De gegevens van Reptool geven dus niet direct inzicht in waar CRMs/SRMs worden verwerkt, maar geven wel een indicatie op basis van de eigenschappen van CRMs/SRMs en materialen die CRMs/SRM bevatten (legeringen, composieten). De resultaten werden gecombineerd om te begrijpen voor welke toepassingen CRMs/SRMs worden gebruikt en in welke chemische vorm CRMs/SRMs worden gebruikt en gecombineerd met andere materialen. Dit resulteerde in een beter inzicht in de producttypen en componenten waarin CRMs/SRMs kunnen worden aangetroffen, aangezien de openbaar beschikbare ProSUM-gegevens daarvoor niet voldoende zijn. Dit leverde een gedetailleerd overzicht op van de materiële basis van AEEA in Nederland, op basis waarvan het theoretische potentieel van AEEA werd ingeschat.

Ten slotte voerden we een concentratie- en 'spreidings'-analyse uit van elk element tussen en binnen specifieke productcategorieën. Deze analyses vergelijken het gewicht van een specifiek element binnen één productcategorie met de totale hoeveelheid van dat element in alle productcategorieën, en het relatieve percentage van een element in een productgroep met het gewicht van alle elementen in dezelfde productcategorie. Ten slotte is een analyse gemaakt van de 'positie' van Nederland door de totale hoeveelheid van een specifiek CRM binnen AEEA te vergelijken met i) de totale EU-vraag naar dat CRM, en ii) de totale hoeveelheid van dat CRM dat in de EU wordt geïmporteerd.

**Deel 2** van het onderzoek betreft het verkrijgen van een overzicht van de huidige wettelijke eisen en de hoeveelheden (W)EEE in Nederland. Hierbij werd gekeken naar de bestaande EU-regelgeving en de 'put-on-market (POM) gegevens en de voorraadgegevens (voorraden in huishoudens) en de gegevens van het door Stichting OPEN ingezamelde en gerecyclede afval. De gegevens voor deze stap omvatten wetenschappelijke literatuur over de levensduur van AEEA, openbare gegevens over AEEA-gegevens gerapporteerd door het NWR (Nationaal (W)EEE Register Rapport 2020, 2021) en Eurostat, plus informatie die rechtstreeks door Stichting OPEN is gecommuniceerd. Het resultaat van deze stap was een overzicht van het bestaande milieubeleid en gegevens over de inzameling van AEEA in Nederland. Deze informatie wordt als context gepresenteerd in hoofdstuk 3.

Daarnaast werd een gedetailleerde data-analyse uitgevoerd door de gegevens van Stichting OPEN, Umicore-gegevens, ProSUM-gegevens en aanvullende UNITAR-gegevens te combineren. De data-analyse werd gevisualiseerd door Sankey-diagrammen voor de materiaalstromen tussen verschillende productgroepen en schattingen van welke CRMs officieel worden verzameld.

De data-analyse van de CRM/SRM-schattingen werd door middel van een reeks diepte-interviews gepresenteerd aan de belangrijkste belanghebbenden in de Nederlandse AEEA-recyclingfasen. De organisaties die zijn geïnterviewd zijn de volgende:

- Stichting OPEN: PRO
- Indaver : mechanische verwerking van lampen

- Mirec handmatige en mechanische verwerking van zeven
- A&M Recycling: handmatige en mechanische verwerking van zeven en groot materieel
- Coolrec : handmatige en mechanische verwerking van grote apparatuur
- Circular Industries: eindverwerking van printplaten
- Umicore: eindverwerking van printplaten en gemengde AEEA-fracties (twee interviews)

De interviews werden gebruikt om onze inzichten te valideren over hoe CRMs werden gebruikt en om te bespreken wat terugwinningsmogelijkheden en -praktijken zijn, rekening houdend met hoeveelheden, technologie en economische mogelijkheden. Vragen gericht op welke producten ze ontvangen van Stichting OPEN, hun recyclingactiviteiten, welke CRM/SRM ze momenteel terugwinnen, waar (op basis van de theoretische gegevens) CRM/SRMs zich in hun stromen kunnen bevinden, en welke CRM/SRMs potentieel hebben voor (additionele) terugwinning. De interviewleidraad vindt u in bijlage 7.4.

Een overzicht van de huidige recyclingstatistieken werd verstrekt door Stichting OPEN. Daarnaast gaf een geïnterviewde (Umicore) een overzicht van welke materiaalstromen zij momenteel terugwinnen uit PCB's en AEEA-fracties (zie 5.1). Dit gaf een overzicht van de huidige stand van zaken met betrekking tot de kennis op het gebied van AEEA-recycling. Daarnaast werden inzichten over de ProSUM- databases verzameld op basis van bestaande inzichten (UNITAR, 2024) en gesprekken met een senior onderzoeker van UNITAR. Deze gegevens vormden de basis voor de inzichten in paragrafen 5.1 en 5.2.

**Deel 3** omvatte het analyseren van de beschikbare informatie en het combineren van de inzichten uit fase één en twee om een overzicht te geven van de belangrijkste belemmeringen en kansen voor het vergroten van de terugwinning van CRMs/SRMs uit AEEA. De CRM/SRM-mogelijkheden voor terugwinning werden kwalitatief gekozen, op basis van hoeveelheden, prijzen en beschikbaarheid. Bovendien werden de belangrijkste belemmeringen voor terugwinning, zoals aangegeven door de geïnterviewden, gegeven en gecodeerd volgens het UNFC-raamwerk, dat in meer detail wordt uitgelegd in paragraaf 5.2.6. (Verenigde Naties. Economische Commissie voor Europa, 2019) Ten slotte werden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

### 3 Organisatie van AEEA-inzameling en recycling in Nederland.

Dit hoofdstuk geeft een contextbeschrijving van AEEA-recycling in Nederland en de EU. Het biedt een beschrijvende analyse van het beleid en governance van AEEA-recycling (3.1), en de huidige cijfers over op de markt gebrachte apparatuur (POM), de voorraad, de inzameling en nuttige toepassing in Nederland (3.2). Dit biedt een referentiepunt voor de theoretische schattingen van CRMs/SRMs (hoofdstuk 4) en de praktische dynamiek (hoofdstuk 5).

#### 3.1 Beleid en governance van de inzameling en recycling van AEEA

Nederland volgt de wettelijke vereisten van de AEEA-richtlijnen van 2002 en 2012, waarbij gebruik wordt gemaakt van het principe van uitgebreide producentenverantwoordelijkheid. Op grond van deze richtlijnen zijn producenten verplicht de inzameling en recycling van al hun producten te financieren wanneer deze afval worden. In de richtlijnen worden een producent gedefinieerd als de actor die het product op de Nederlandse markt brengt, bijvoorbeeld distributeurs, detailhandelaren, Original Equipment Manufacturers (OEM's), wederverkopers etc.. Ook de organisatie van de afvalinzameling en recycling kan namens hen worden gedaan door een derde partij. Vervolgens betalen de 'producenten' een vast bedrag dat vaak gerelateerd is aan het gewicht van het verkochte product. In Nederland voldoet Stichting OPEN <sup>2</sup>(ook wel de producentenverantwoordelijkheidsorganisatie (PRO) genoemd) aan deze specifieke eisen die door de EU (en daarmee ook Nederland) zijn gesteld. De exploitatiekosten voor PRO's omvatten over het algemeen de kosten van inzameling, behandeling en administratie en communicatie van het systeem, minus de inkomsten uit de verkoop van teruggewonnen materialen (OESO, 2016) .

De AEEA-richtlijn schetst specifieke vereisten voor het organiseren van de inzameling en recycling van AEEA. Concreet moeten de producenten (of de PRO) tot 65% van het gemiddelde gewicht van de AEEA inzamelen die in de drie voorgaande jaren in de betrokken lidstaat op de markt is gebracht, of anderszins 85% van de AEEA die op het grondgebied van die lidstaat is geproduceerd. (Richtlijn, 2012) . Alle AEEA in Nederland wordt geclassificeerd en gerapporteerd volgens de zes categorieën van de EU.

Ingezamelde AEEA moet worden gerecycled en gerapporteerd aan de Nederlandse overheid en de EU. Het Nationaal (W)EEE Register (NWR) zorgt voor het vastleggen en rapporteren van gegevens van producenten en importeurs, (W)EEE-verwerking en export. AEEA wordt ingezameld bij diverse inzamelpunten, zoals retailers en gemeentelijke afvalstations, getransporteerd naar organisaties met contracten met Stichting OPEN en gesorteerd in verschillende categorieën en productgroepen. De ingezamelde AEEA wordt naar verschillende recyclers gestuurd, afhankelijk van het type product en of het gevaarlijk is (bijvoorbeeld kwikhoudende lampen of producten die batterijen bevatten) (waarvoor aparte EU-wetgeving bestaat). Handmatige en mechanische verwerkers die door Stichting OPEN zijn gecontracteerd, moeten zich houden aan de CENELEC EN 50625-norm, een vrijwillige EU-norm die tot doel heeft de inzameling, verwerking en rapportage van AEEA te verbeteren (CEWASTE, 2021) . Momenteel vallen CRM-terugwinning en -rapportage niet onder de AEEA-richtlijnen. Recyclers zijn echter verplicht bepaalde percentages uit verschillende productgroepen terug te winnen en te recyclen, bijvoorbeeld 85% terugwinning en 80% recycling voor ingezamelde grote huishoudelijke apparaten en 75% terugwinning en 55% recycling voor ingezamelde verlichtingsapparatuur. Deze inzamel- en terugwinningspercentages zijn gebaseerd op gewicht, en niet op het terugwinnen van specifieke materialen of componenten.

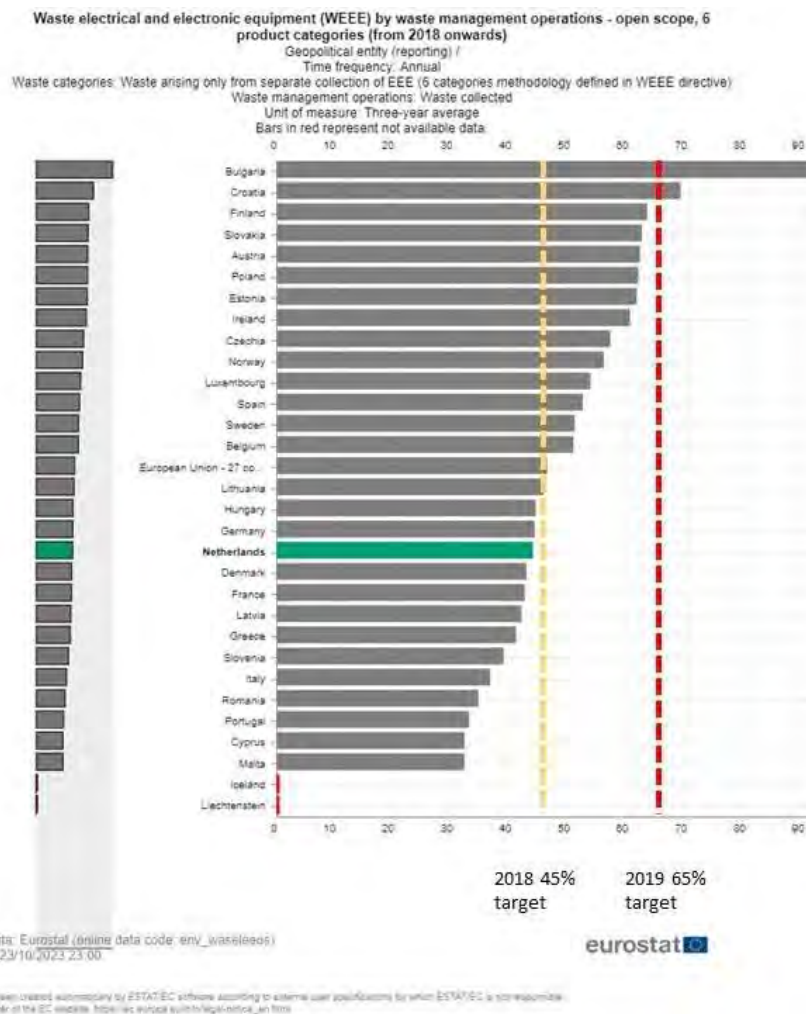
De aanpak van de Stichting OPEN leidt tot een gedetailleerd inzicht in de POM- en AEEA-inzameling, mede door de precisie van het handmatig sorteren en verwerken van producten in deelstromen. Deze basis zou met de juiste identificatie van producten die CRMs bevatten, kunnen bijdragen aan intensievere terugwinning door AEEA te leiden naar geschikte mechanische of materiaal-terugwinningswerkzaamheden. **Figuur 6** geeft een globaal

<sup>2</sup> Stichting OPEN is ontstaan uit Wecycle , WNL, ZRN, PV Cycle, RTA, Stibat met als doel te voldoen aan de inzamelingsdoelstelling van de EU-AEEA-richtlijn van 65%.

schema van de betrokken stakeholders in Nederland **Error! Reference source not found.** toont een internationale vergelijking van het EU-inzamelingspercentage voor AEEA voor 2020. Het verhogen van het inzamelingspercentage zal stevast het vooruitzicht op een groter CRM/SRM-terugwinning vergroten.

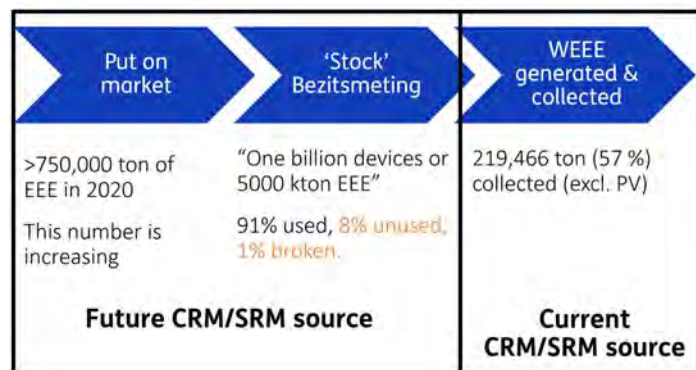
Tabel 3 Het Nederlandse inzamelingspercentage voor AEEA in 2020. (Bron: Nationaal (W)EEE Register Rapport 2020, 2021)

Incassoberekeningspercentage 2020				
	Product categorie	Gecorrigeerde PoM gem. 2017-2019 en inzamelpercentage	Opgehaald (ton) 2020	Inzamelingspercentage
1	Warmte- of koude-uitwisselingsapparatuur	61.707	41.664	68%
2	Schermen, monitoren en apparatuur met schermen	20.391	17.166	84%
3	Lampen	4.088	1.778	43%
4	Grote uitrusting excl. zonnepanelen	183.090	94.878	52%
	Alleen zonnepanelen	119.071	771	1%
5	Kleine apparatuur	89.017	42.519	48%
6	Kleine IT- en telecommunicatieapparatuur	23.453	21.462	92%
<b>Totaal</b>		<b>500.818</b>	<b>220.237</b>	<b>44%</b>
Zonder SP		381.747	219.466	57%



Figuur 6: Inzamelniveaus in de EU (gebaseerd op een driejarig gemiddelde) voor 2020 en de huidige EU-doelstellingen. Aangepast van bron (Eurostat, 2020)

Samenvattend kan de hoeveelheid EEA die elk jaar (als deel van PoM) wordt gebruikt en in voorraad wordt gehouden, worden gezien als toekomstige bron van CRMs/SRMs. De gegenereerde en ingezamelde AEEA vormen de huidige bronnen van CRMs/SRMs (Figuur 7).



Figuur 7 Definitie van PoM, voorraad en gegenereerde en ingezamelde AEEA met betrekking tot CRM/SRM-potentieel. Let op: PV verwijst naar zonnepanelen

## 4 Schatten van de hoeveelheden CRMs en SRMs binnen de Nederlandse AEEA

De belangrijkste bevindingen uit dit hoofdstuk zijn:

1. De AEEA-rapportage in Nederland is onderverdeeld in zes brede categorieën (grote apparatuur, apparatuur voor temperatuuruitwisseling, kleine IT en telecom, kleine apparatuur, lampen en schermen). Dit omvat duizenden verschillende producten en merken van hetzelfde product;
2. Er zijn veel verschillende CRM's en SRM's aanwezig binnen AEEA. De beschikbare gegevens maken het mogelijk grondstoffen te verdelen op productcategorieën; het is echter moeilijk om definitief aan te geven in welke specifieke subproducten (bijvoorbeeld koelkasten of diepvriezers in grote apparatuur, en meer specifiek tussen de verschillende merken, bijvoorbeeld het type koelkast) deze CRM/SRM's aanwezig zijn en op welk niveau. De openbare niveaus van ProSUM-gegevens zijn momenteel dus niet gedetailleerd genoeg om specifieke componenten en producten te identificeren.
3. De CRM/SRM's die aanwezig zijn in AEEA lopen qua hoeveelheid sterk uiteen: koper (13,6 kton) en nikkel (2,9 kton) zijn bijvoorbeeld in grote hoeveelheden aanwezig, terwijl andere elementen in veel kleinere hoeveelheden aanwezig zijn, b.v. Lithium (28 kg) en vanadium (109 kg);
4. CRM/SRM's zijn in verschillende mate over de AEEA-categorieën verspreid: sommige materialen zijn hoofdzakelijk geconcentreerd in één enkele productcategorie (zoals Sb, Sr, W, Nd), terwijl andere elementen gelijkmatiger over een aantal categorieën zijn verdeeld (zoals V, Ge, Rh, Pt, Be en Ga). Er wordt dus aangenomen dat de concentratie van elementen in producten en componenten mechanische en handmatige recyclers helpt zich hierop te richten.
5. Sommige SRMs (zoals bijvoorbeeld Dysprosium en Neodymium, Nikkel en Terbium) in Nederlandse AEEA lijken een vrij groot deel van de EU-vraag te dekken, tot wel 31% van de huidige vraag. Dit vraagt om een grondiger beoordeling van het realistische potentieel van alle Europese afvalstromen.

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van de data-analyse van CRM/SRMs die naar schatting beschikbaar zijn uit AEEA in Nederland. Paragraaf 4.1 specificeert hoe verschillende CRMs en SRMs binnen deze afvalstroom worden verdeeld, waarbij de nadruk ligt op de hoeveelheden en op de spreiding over verschillende AEEA-categorieën. In paragraaf 4.2 wordt onderzocht hoeveel AEEA-recycling theoretisch kan bijdragen aan de CRM/SRM-doelstellingen van de EU. Op basis van de eerste twee paragrafen schetsen we in paragraaf 4.3 de theoretische positie van Nederland.

### 4.1 Hoeveelheden en distributie van CRM/SRMs binnen AEEA

#### 4.1.1 Waar bevinden zich CRMs/SRMs in AEEA-componenten?

AEEA wordt beschouwd als een zeer complexe gemengde afvalstroom, omdat producten uit veel verschillende componenten bestaan om hun functie te vervullen. De combinatie van verschillende componenten leidt ertoe dat er een grote verscheidenheid aan elementen wordt gebruikt, in veel verschillende combinaties en verschijningsvormen. Daarnaast leidt het snelle tempo van innovatie tot aanpassingen in de samenstelling en het gebruik van materialen (Bakker et al., 2014). Hieronder wordt een aantal componenten opgesomd met een korte beschrijving van welke elementen waarschijnlijk worden gebruikt en hoe de materialen in het component zijn ingebed.

- Printplaten (PCB's): de meeste AEEA bevatten PCB's en worden als waardevol beschouwd vanwege hun goud-, koper- en platinagehalte. Er is echter een grote verscheidenheid aan printplaten, omdat de functie de mate van complexiteit bepaalt: een printplaat van een kleine fietslamp bestaat uit een kleiner aantal en goedkopere materialen dan een laptopprintplaat.
  - **Koper** wordt gebruikt als geleidende laag tussen de kunststoffen, evenals als soldeer. Voor beide toepassingen in metaalachtige staat.



- **Gallium** wordt meestal gebruikt als halfgeleider in chips in de samenstelling van GaN , InGaAs of  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (Shivani et al., 2022; Ueberschaar et al., 2017)
- **Strontium** wordt toegepast als keramische condensator vanwege de hoge thermische stabiliteit en wordt vervolgens ook gecombineerd met **titanium** ( $\text{SrTiO}_3$ ) (Ichikawa et al., 2023)
- **Tantaal** wordt vooral gebruikt voor condensatoren ( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ) (Bastin et al., 2020)

Voor PCB's geldt echter: hoe duurder de toepassing, hoe complexer de structuur van de PCB en zijn componenten wordt. In dat geval worden zeer dunne laagjes dure materialen aangebracht waardoor de materialen ook moeilijk toegankelijk zijn voor recycling en slechts in lage concentraties aanwezig zijn.

- **Kabels:** alle AEEA bevat elektriciteitskabels en vanwege de geleidende eigenschappen en het vermogen om het materiaal te vormen , wordt **koper** veel gebruikt in bedrading in de elektronica en als geleidende tussenlaag in PCB's. daarnaast wordt koper ook gebruikt voor elektromagnetische spoelen. Koper is niet-specifiek: het element is in grote hoeveelheden in alle categorieën te vinden.
- **Magneten:** magneten worden meestal gebruikt voor elektromotoren of gegevensopslag op harde schijven en voor elektromotoren. Hoewel de toepassing anders is, zijn de materialen vergelijkbaar, aangezien de meeste toepassingen sterke magneten vereisen, dus NdFeB- magneten die **neodymium** en **boor bevatten** . Voor optimale prestaties kunnen magneten worden gedoteerd met **Praseodymium** of **Dysprosium** . Omdat dit materiaal erg bros is, is het bedekt met een beschermlaag die kan bestaan uit zink of uit een meerlaagse **nikkel-koper-nikkel** (Buchert, M. Manhart, A., Bleher, D., Pingel, 2012; Cui et al., 2022)
- **Lichtgevende materialen:** de ontwikkelingen op het gebied van scherm- en verlichtingstechnologieën zijn snel vooruitgegaan, zoals ook blijkt uit de verscheidenheid aan schermen, monitoren en lampen in AEEA. Over het algemeen kan een aantal REE's in AEEA worden aangetroffen, meestal in kleine hoeveelheden, als doteermiddel, omdat er slechts lage concentraties nodig zijn om de materialen luminescerend te laten zijn. De REE's worden in lage concentraties ingebouwd als doteermiddelen, zoals **Europium, Lanthaan, Terbium, Cerium , Yttrium** en **Gadolinium** (Buchert, M. Manhart, A., Bleher, D., Pingel, 2012; Méar et al., 2006) . Andere CRMs/SRMs worden gebruikt als gastheermatrix, zoals aardalkalialuminaten die **strontium bevatten** (Aitasalo et al., 2003) of **boor** in boraten (Buchert, M. Manhart, A., Bleher, D., Pingel, 2012)
- **Glas:** glas zit vooral in schermen en monitoren en bevat slechts een beperkt aantal CRMs/SRMs en in lage concentratie. **Antimoon** wordt gebruikt in glas in kathodestraalbuizen (CRT's), terwijl **boor** wordt gebruikt als netwerkvormer. **Strontium** wordt gebruikt in het paneelglas van CRT's uit 1995 ter vervanging van lood om kleurloos glas te produceren (Méar et al., 2006) .
- **Kunststoffen:** voor kunststoffen zijn veel additieven te vinden, maar het aantal CRMs/SRMs is beperkt. **Antimoon** zit in kunststoffen als brandvertragend additief. In dit geval is het oxide,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , gemengd met kunststoffen en opgenomen in de matrix (Filella et al., 2020) .
- **Behuizing van producten:** veel draagbare producten in AEEA maken gebruik van lichtgewicht legeringen die **magnesium** bevatten vanwege de lage dichtheid. Zuiver Magnesium heeft echter een slechte mechanische sterkte en wordt daarom alleen als legering gebruikt en zit vooral in aluminiumlegeringen (Monteiro, 2014) .

Andere elementen die in AEEA voorkomen:





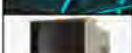


- **Kobalt:** De meeste kobaltgevonden AEEA kan worden toegeschreven aan lithium-ionbatterijen (Buchert, M. Manhart, A., Bleher, D., Pingel, 2012; Méar et al., 2006) .
- **Wolfram :** een veel gebruikt element in verschillende producten zoals bedrading en elektrische contacten (Choi et al., 2022) .
- **Niobium :** Niobium is een element dat zelden in AEEA wordt aangetroffen. De ProSUM- gegevens tonen alleen gegevens voor het gebruik van niobium in afdichtingen voor hogedruknatriumlampen (Huisman et al., 2017; Karlicek et al., 2017) .



- **Samarium** : als doteermiddel in calciumchloridekristallen gebruikt voor optische lasers (Royal Society of Chemistry, 2024)

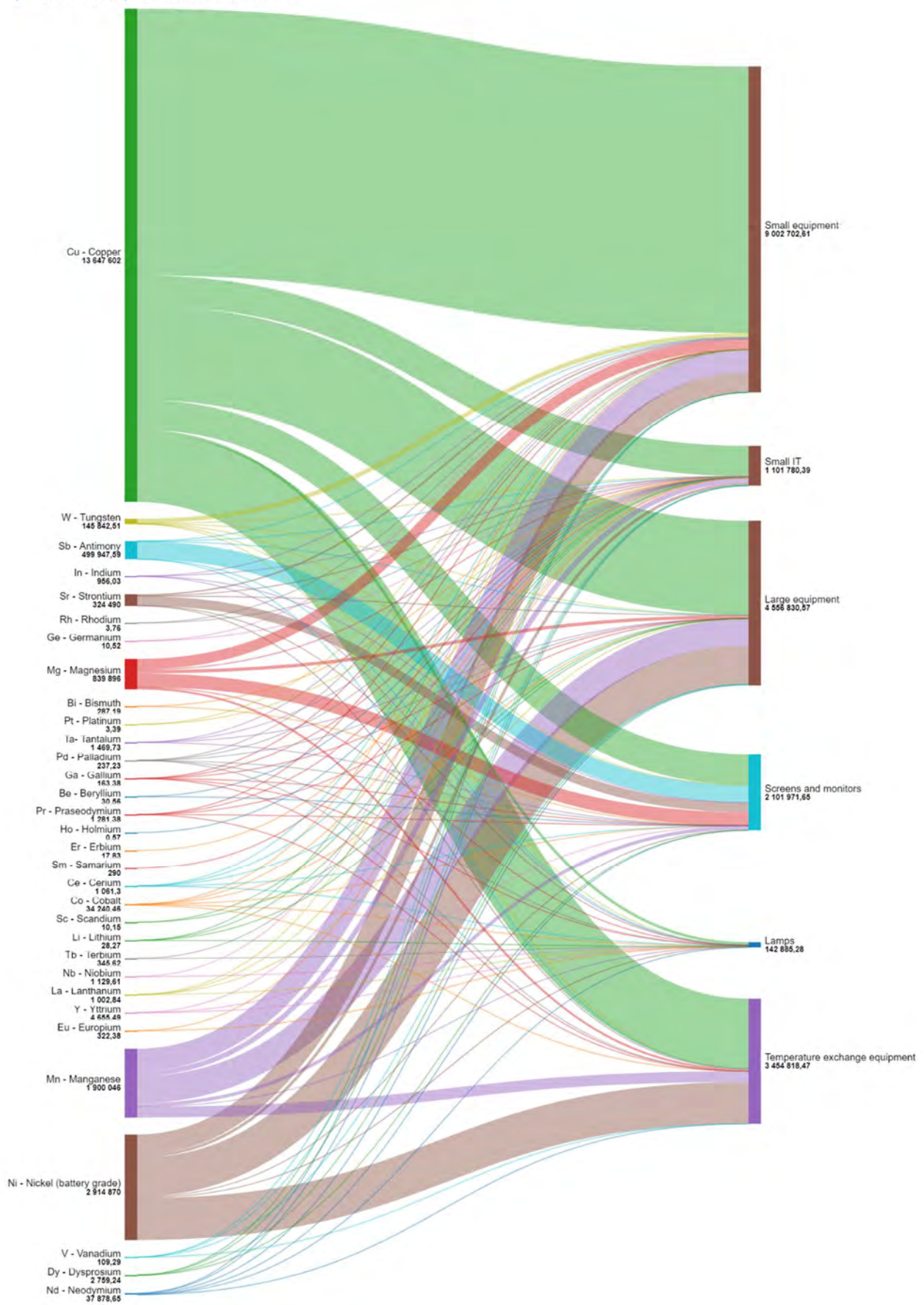
Een samenvatting van het gebruik van CRM/SRMs binnen AEEA-componenten vindt u in Tabel 5.

Tabel 4AEEA-componenten en CRM/SRMs

	Component	Sb	Cu	Ga	Sr	Ti	Ta	Nd	Pr	Dy	B	Eu	La	Tb	Mg
	Cables		X												
	PCBs		X	X	X	X	X								
	Magnets <sup>1</sup>							X	X	X	X				
	Luminescent materials				X						X	X	X	X	
	Glass <sup>2</sup>	X			X						X				
	Plastics <sup>2</sup>	X													
	Casing														X

#### 4.1.2 Welke hoeveelheden CRMs en SRMs zijn aanwezig in de verschillende AEEA-categorieën?

Het Sankey-diagram in Figuur 8 geeft een beeld van de aanwezigheid van CRMs en SRMs binnen verschillende afvalstromen van alle AEEA-categorieën (kleine apparatuur, schermen en monitoren, kleine IT, lampen, temperatuurapparatuur en grote apparatuur). Het toont de totale hoeveelheden AEEA per productcategorie. Een belangrijke opmerking is dat metalen, zoals ijzer en aluminium, en kunststoffen het grootste deel van het totale gewicht uitmaken. Deze materialen zijn niet weergegeven in de figuur. Het relatieve aandeel CRMs en SRMs is laag: variërend van slechts 0,7% van het totale gewicht in kleine IT tot 4,6% voor grote apparatuur. Voor een overzicht van de specifieke hoeveelheden zie bijlage 7.1.



Figuur 8: Afval gegenereerd in 2020: CRM per verschillende categorie (bron: Prosum )

Uit deze elementaire stromen vinden we het volgende:

- Wanneer gekeken wordt naar het totaal aantal CRMs/SRMs in de verschillende categorieën, bevat “kleine apparatuur” het grootste aantal CRMs en “lampen” het laagste.
- Wanneer koper *niet* in aanmerking wordt genomen, bevat grote apparatuur de grootste hoeveelheid CRMs/SRMs;
- Kleine IT bevat het grootste aantal verschillende CRMs/SRMs (33) en temperatuuruitwisselingsapparatuur het kleinste aantal verschillende CRMs/SRMs (15).
- De grootste CRM/SRM-aanwezigheid in alle categorieën (zonder koper) zijn nikkel, mangaan, wolfram, magnesium, strontium en antimoon;
- Van deze CRMs zijn Antimoon en Strontium vooral aanwezig in 'Schermen en monitoren' en Wolfram wordt vooral toegeschreven aan 'Kleine apparatuur'; De aanwezigheid van nikkel en mangaan wordt opgesplitst tussen 'temperatuuruitwisselingsapparatuur', 'grote apparatuur' en 'kleine apparatuur';
- Van de kleinere stromen worden Neodymium en Dysprosium vooral toegeschreven aan 'Grote apparatuur', terwijl Kobalt vooral in 'Lampen' wordt aangetroffen.

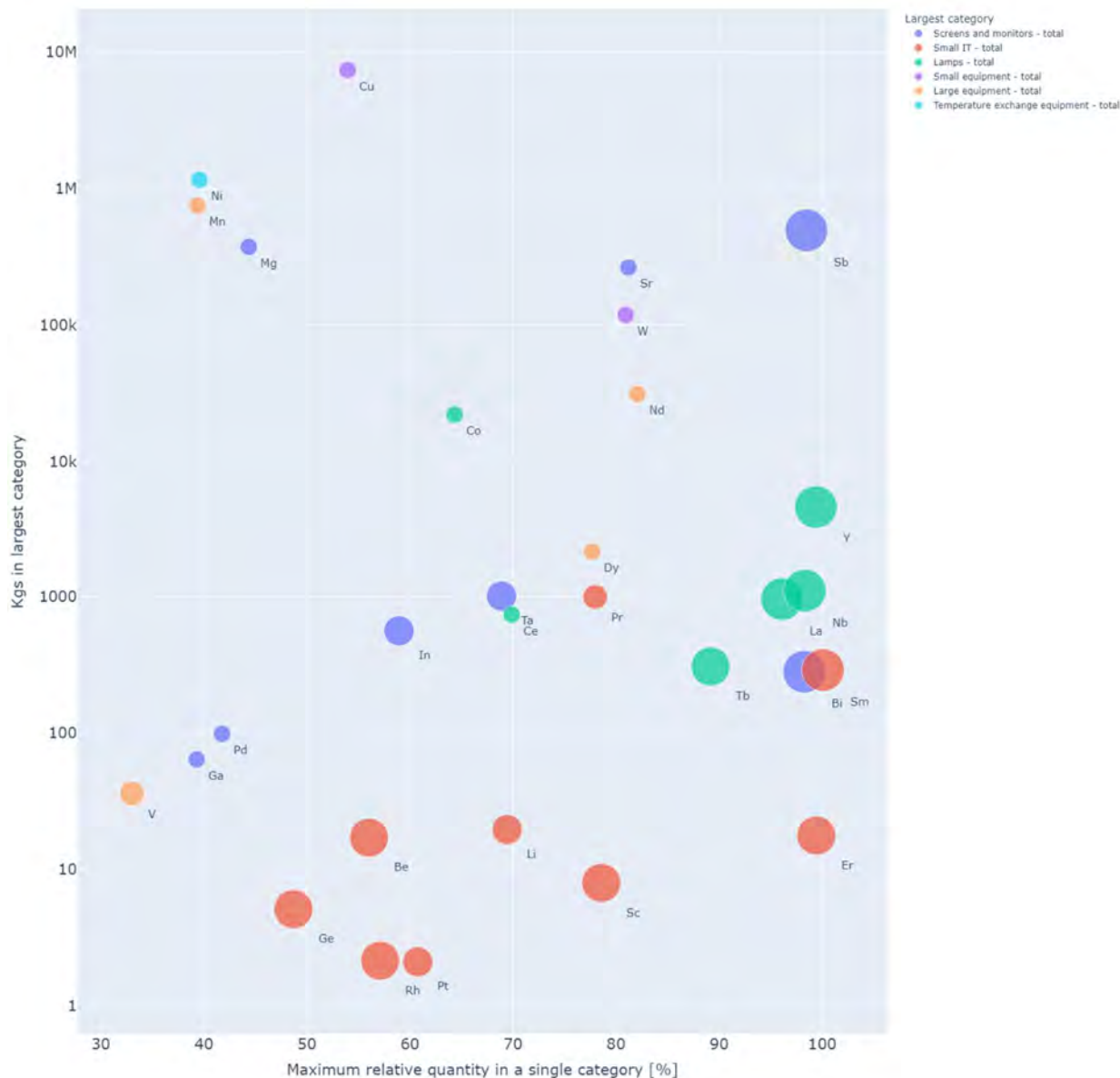
De ProSUM- gegevens rapporteren over samenstellingsdetails in AEEA voor de meeste CRMs en SRMs, maar niet voor allemaal. Borium en Gadolinium zijn bijvoorbeeld niet gerapporteerd door ProSUM . Voor Boron kan echter een schatting worden gemaakt op basis van de hoeveelheid Neodymium die in AEEA wordt aangetroffen. Het meeste neodymium wordt zowel in permanente magneten als in boor gebruikt. Voor dergelijke magneten kan men op basis van de chemische formule  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  (molgewicht = 1081,12 g/mol) aannemen dat er ongeveer 37 g boor per kilogram neodymium aanwezig is. Borium kan echter ook in luminescerende materialen en glas worden aangetroffen als boraten zoals beschreven in paragraaf 5.1 en de hoeveelheid Borium zal daarom de schatting van 37 g Borium per kg Neodymium overschrijden. Uiteraard hangt de vraag “welke categorieën AEEA de moeite waard zijn om te onderzoeken voor CRM-recycling” af van meer factoren dan alleen de volumes van verschillende CRM-stromen in de AEEA.

#### 4.1.3 Hoe zijn CRMs verdeeld over de verschillende AEEA-productcategorieën?

Zoals de Sankey-diagrammen in de vorige paragraaf al lieten zien, zijn CRM/SRMs verspreid, dat wil zeggen verdeeld in variërende hoeveelheden en concentraties binnen AEEA. Hier onderzoeken we die verdeling verder. De veronderstelling is dat een grotere concentratie van CRM/SRMs binnen een productcategorie recyclers zal helpen zich te richten op specifieke producten of fracties. Figuur 9 combineert verschillende aspecten:

- Op de x-as wordt de relatieve hoeveelheid van een CRM weergegeven in de categorie waarin de relatieve hoeveelheid van die CRM het hoogst is;
- De y-as geeft het absolute gewicht aan van een CRM in de categorie waarin het hoogste relatieve niveau van die CRM wordt aangetroffen;
- De grootte van de stippen geeft het aantal AEEA-categorieën aan waarin deze CRM is aangetroffen. Hoe kleiner de stip, hoe meer categorieën deze kan worden gevonden. Hoe groter de stip, hoe minder categorieën de CRM is verspreid en hoe interessanter deze zou kunnen zijn vanwege de mogelijk hogere concentratie. De kleur van de stip geeft aan in welke categorie een bepaald CRM het meest voorkomt; de categorie ‘lampen’ is bijvoorbeeld groen gekleurd.

Elementen die voor meer dan 90% in één categorie voorkomen, beschouwen we als voorkomend in één categorie. Neem als voorbeeld Antimoon (Sb). Theoretisch is antimoon aanwezig in zes verschillende AEEA-categorieën (allemaal). Van al het antimoon in AEEA wordt echter 98% aangetroffen in de categorie Schermen en monitoren. Voor verdere analyse gaan we er dus van uit dat antimoon in één categorie aanwezig is (vandaar de grote stip in de figuur). De maximale relatieve hoeveelheid in één categorie (x-as) is uiteraard ook vrij hoog. Bovendien bedraagt de absolute hoeveelheid antimoon die in de grootste categorie (y-as, voor de categorie Schermen en Monitoren) wordt aangetroffen 492 ton, wat ook relatief hoog is vergeleken met andere CRM-hoeveelheden binnen AEEA. Ten slotte helpt de kleur van de antimoonbubbel om snel te identificeren in welke categorie deze het meest aanwezig is.



Figuur 9: Vergelijking van de verspreiding en het volume van CRM/SRMs in AEEA (bron: Prosum )

De belangrijkste conclusies uit deze analyse zijn als volgt:

- We zien dat verschillende elementen voorkomen in zes categorieën (wat geïllustreerd wordt door de hoeveelheid kleine belletjes).
- In de rechterbovenhoek identificeren we elementen met grote volumes die meestal in één categorie voorkomen (zoals Sb, Sr, W, Nd), en kleinere volumes in andere categorieën. In de linkerbenedenhoek identificeren we elementen met kleinere volumes en meer gelijkmatig verdeeld over een klein aantal categorieën (zoals V, Ge, Rh, Pt, Be en Ga).

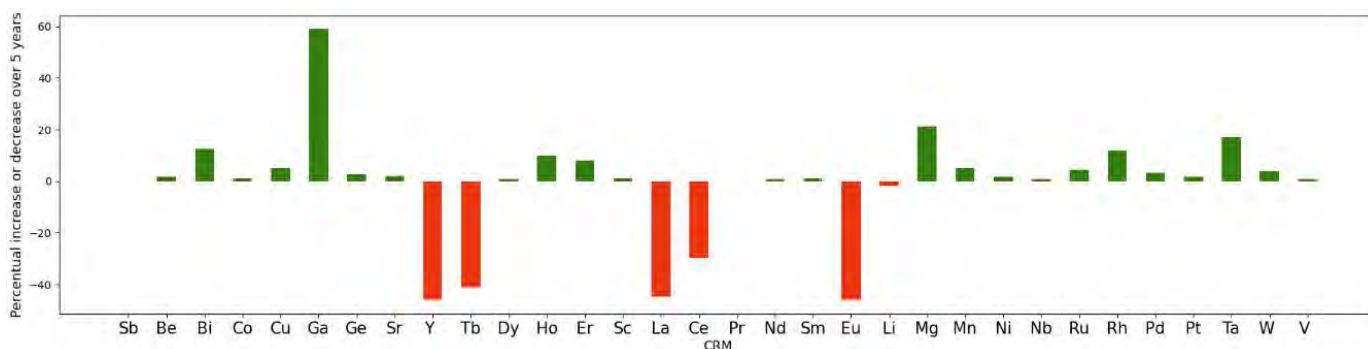
De relevantie van het analyseren van de spreiding van CRMs over verschillende productcategorieën houdt verband met de specialisatie van recyclers: sommige recyclers recycleren vooral lampen, terwijl andere processen vooral schermen of 'witgoed' verwerken. Daarom is een spreidingsanalyse een eerste poging om te

begrijpen welke groep recyclers naar welke CRMs zou kunnen kijken. Dit is uiteraard een theoretische poging, aangezien het recyclen van AEEA veel meer inhoudt dan alleen weten ‘waar je moet zoeken’. Dit onderwerp zal in het volgende hoofdstuk verder worden onderzocht.

#### 4.1.4 Trends van CRM/SRM-hoeveelheden in AEEA tussen 2016-2020

Het ProSUM- project verzamelde gegevens en schattingen over de hoeveelheid CRMs in elk van de AEEA-categorieën. De dataset bevatte geschatte hoeveelheden tussen 2015-2020. In dit onderzoek zijn de schattingen voor 2020 gebruikt; de gegevens onthullen echter ook de trends van de afgelopen jaren. Het begrijpen van de trends op het gebied van CRM/SRMs is nuttig om te onderzoeken of bepaalde CRM/SRMs worden uitgefaseerd en daarom minder interessant worden vanuit een recyclingperspectief, of juist toenemen en daardoor interessanter worden.

De belangrijkste trends voor CRMs tussen 2015 en 2020 op het gebied van AEEA volgens de voorspellingen van ProSUM zijn weergegeven in **Figuur 10**. Uit deze figuur blijkt dat de elementen in de lampen van de AEEA-categorie (Y, Eu, La) het meest zijn afgenomen. De niveaus van gallium, magnesium en tantaal zijn in deze periode het meest gestegen.



Figuur 10: Trendanalyse van 2016-2020: alle AEEA-categorieën samen (bron: Prosum )

#### 4.1.5 Veronderstelde marktwaarde van CRM/SRM binnen AEEA

Tabel 5 geeft een samenvatting van de (veronderstelde) waarde voor de CRM/SRM-hoeveelheid die aanwezig is in de grootste productcategorie. Zonder rekening te houden met de technische en economische kosten van het terugwinnen van CRM/SRMs, schetst de onderstaande tabel de veronderstelde marktwaarde voor alle materialen in de productcategorie waarin ze het meest overvloedig aanwezig zijn. De waarde van Nd (neodymium), aanwezig in grote apparatuur, wordt bijvoorbeeld geschat op ongeveer 1,5 miljoen dollar.

Tabel 5 Veronderstelde marktwaarde voor CRM/SRMs binnen Nederlandse AEEA

CRM/SRM	Waarde [\$ /kg]	kg in grootste categorie	Waarde in grootste categorie	Grootste categorie
Sb - Antimoon	\$ 7,80	492 342	\$ 3 840 264	Schermen en monitoren
Wees - Beryllium	\$ 500,00	17	\$ 8 562	Kleine IT
Bi- Bismuth	\$ 10,00	282	\$ 2 822	Schermen en monitoren
Co- Kobalt	\$ 28,00	22 030	\$616.838	Lampen
Cu- Koper	\$ 7,53	7 363 785	\$ 55 449 303	Kleine apparatuur
Ga-gallium	\$ 350,00	64	\$ 22 478	Schermen en monitoren
Ge - Germanium	\$ 1.300,00	5	\$ 6 654	Kleine IT
In-Indium	\$ 260,00	564	\$ 146 515	Schermen en monitoren
Sr - Strontium	\$ 0,08	263 487	\$ 21 079	Schermen en monitoren
Y - Yttrium	\$ 3,50	4 627	\$ 16 196	Lampen



Tb-Terbium	\$ 500,00	308	\$ 154 100	Lampen
Dy-dysprosium	\$ 250,00	2 143	\$ 535.872	Grote uitrusting
Ho-Holmium	\$ 50,00	>0	\$ 7	Kleine IT
Er - Erbium	\$ 26,00	18	\$ 461	Kleine IT
Sc-Scandium	\$ 1.000,00	8	\$ 7 973	Kleine IT
La - Lanthaan	\$ 4,00	964	\$ 3 856	Lampen
Ce - Cerium	\$ 2,00	742	\$ 1 483	Lampen
Pr - Praseodymium	\$ 55,00	999	\$ 54 948	Kleine IT
Nd - Neodymium	\$ 48,00	31 093	\$ 1 492 442	Grote uitrusting
Sm - Samarium	\$ 1,80	290	\$ 522	Kleine IT
Eu - Europium	\$ 35,00	646	\$ 22 624	Lampen
Li-Lithium	\$ 9.000,00	20	\$ 176.557	Kleine IT
Mg-Magnesium	\$ 2,50	372 565	\$ 931.413	Schermen en monitoren
Mn - Mangaan	\$ 0,36	748 311	\$ 269 392	Grote uitrusting
Ni - Nikkel ( battery grade )	\$ 18,00	1 153 652	\$ 20 765 743	Apparatuur voor temperatuur- uitwisseling
Nb-Niobium	\$ 26,23	1 111	\$ 29 134	Lampen
Ru - Ruthenium	\$ 8.037,69	>0	\$ 6	Kleine IT
Rh-Rodium	\$ 163.968,81	2	\$ 351.713	Kleine IT
Pd - Palladium	\$ 77.160,00	99	\$ 7 644 604	Schermen en monitoren
Pt - Platina	\$ 25.077,58	2	\$ 52 618	Kleine IT
Ta- Tantalum	\$ 200,00	1 012	\$ 202.492	Schermen en monitoren
W - Wolfram	\$ 33,00	118 039	\$ 3 895 283	Kleine apparatuur
V - Vanadium	\$ 30,00	36	\$ 1 083	Grote uitrusting

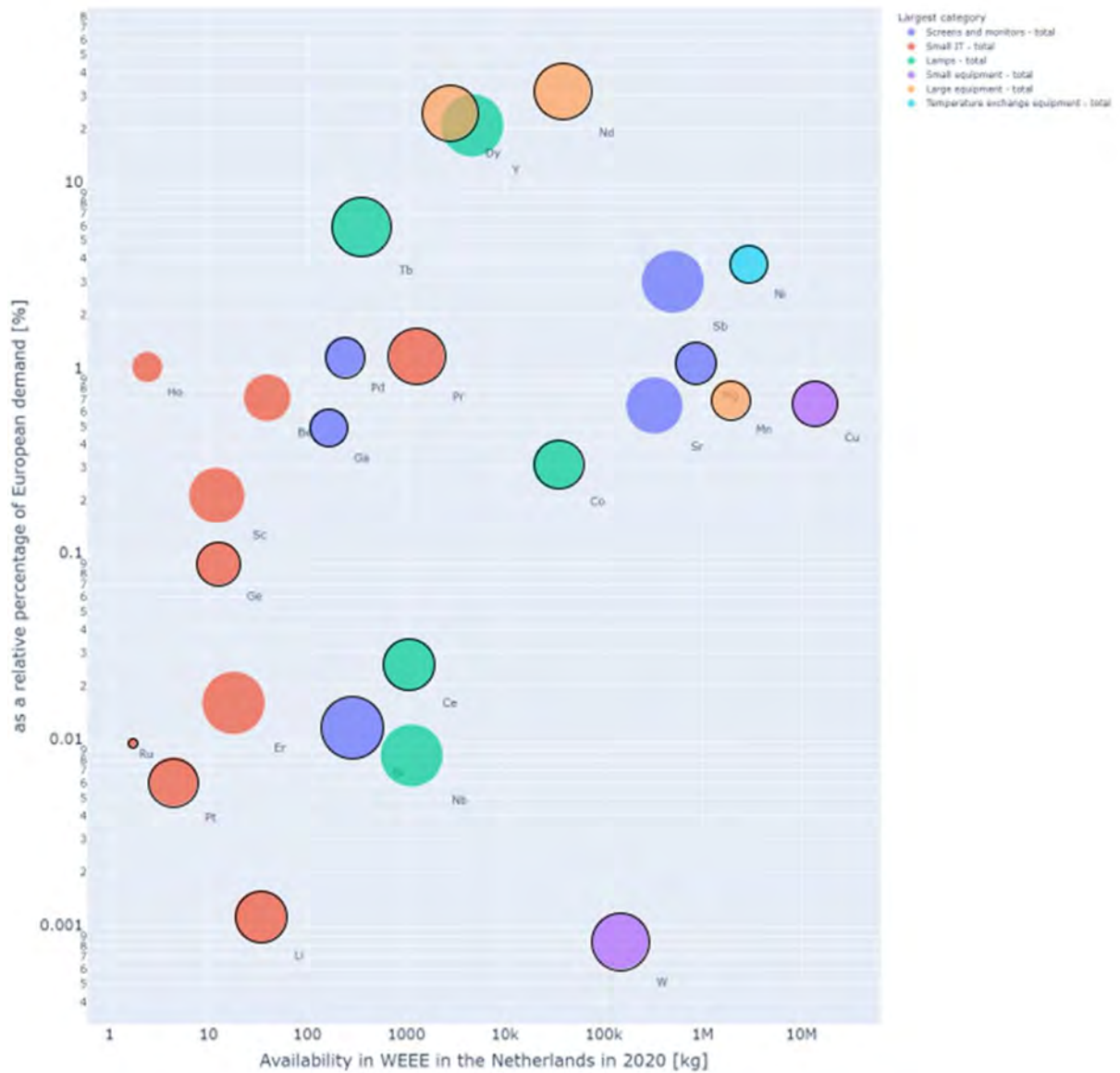
## 4.2 Hoe verhoudt de hoeveelheid CRM/SRMs in AEEA zich tot de Europese vraag?

De CRMA streeft ernaar het aanbod van secundaire grondstoffen via recycling te vergroten naar 25% van de totale vraag naar strategische grondstoffen. Terwijl deze benchmark kijkt naar de geaggregeerde hoeveelheden SRMs, illustreren we de relatieve hoeveelheden binnen AEEA door de totale hoeveelheid CRMs/SRMs in AEEA te vergelijken met de totale EU-vraag<sup>3</sup> naar datzelfde element. Een belangrijke opmerking hier is dat Nederland alléén misschien geen significante hoeveelheid zal opleveren (aangezien andere landen een vergelijkbaar of groter potentieel zullen hebben), maar dat de geschatte beschikbaarheid van SRM binnen onze grenzen wel een indicatie geven vande mate waarin in de EU-vraag kan ovrden voorzien, en mede daarom onderwerp van vervolgonderzoek zou kunnen zijn. De volgende conclusies zijn wederom uitsluitend gebaseerd op AEEA en houden geen rekening met CRMs uit andere afvalstromen, bijvoorbeeld EV's en batterijen.

In **Figuur 11** combineren we informatie over de hoeveelheden en het percentage van de vraag in de EU naar de CRMs/SRMs binnen AEEA. In de figuur zijn de stippen kleurcodeerd om de productcategorie aan te geven waar de hoogste concentratie van dat element wordt aangetroffen. Neodymium (Nd) heeft bijvoorbeeld de hoogste concentratie in de productcategorie Grote apparatuur (zie bijlage 7.1) en komt overeen met ongeveer 31% van de totale vraag in de EU. Ten slotte variëren de stippen in grootte om de maximale relatieve hoeveelheid in een enkele categorie binnen die categorie aan te geven. Zo wordt 82% van de totale hoeveelheid neodymium in AEEA aangetroffen in grote apparatuur. De stip is dus groter dan die van nikkel, waarvan 37% geconcentreerd is in temperatuuruitwisselingsapparatuur. De figuur toont het relateif grote potentieel voor antimoon, terbium, yttrium, dysprosium, neodymium en nikkel, aangezien de beschikbaarheid van deze elementen in Nederlandse AEEA aan meer dan 3% van de EU-vraag zou kunnen voldoen. Van deze zes vallen Tb, Y, Dy, Nd en Ni onder de classificatie van SRMs en kunnen daarom aanzienlijk bijdragen aan het ondersteunen van de CRM-doelstelling om aan 25% van de vraag naar SRM te voldoen door middel van recycling. Het is vermeldenswaard dat we in deze analyse hebben vastgesteld dat sommige hoeveelheden SRM in Nederlandse AEEA een vrij groot deel van de EU-behoefte lijken te dekken, wat vraagt om een grondiger beoordeling van het realistische potentieel van alle Europese afvalstromen.

---

<sup>3</sup>Hier is de EU-vraag naar specifieke CRM/SRM ontleend aan de materiële factsheets van de EU, die een gemiddelde geven van de vraag tussen 2016-2020. Het is belangrijk om te vermelden dat dit overeenkomt met de vraag naar CRMs.



Figuur 11 De positie van Nederland voor diverse CRMs/SRMs. Percelen met een zwarte cirkel zijn SRM, waarop de recyclingbenchmark van de CRM Act van toepassing zou kunnen zijn.

Daarnaast hebben we gekeken naar de hoeveelheden van alle elementen die aanwezig zijn in Nederlandse AEEA ten opzichte van de totale vraag vanuit de Nederlandse industrie (bijlage 7.5). Alhoewel hier geen analyse is verricht naar de daadwerkelijke directe behoefte van de industrie kan dit inzicht helpen te begrijpen hoeveel Nederland (theoretisch) kan bijdragen aan de behoeften van zijn eigen sector met teruggewonnen CRMs.



### 4.3 Welke elementen hebben het grootste potentieel om bij te dragen aan de doelstellingen van de EU CRM Act

Door de informatie uit de voorgaande paragrafen te combineren, komen we tot de conclusie dat specifieke CRMs/SRMs veelbelovende kandidaten zijn voor verdere beoordeling van hun realistische potentieel om bij te dragen aan de Europese vraag. Deze CRMs/SRMs moeten voldoen aan ten minste twee van de volgende criteria:

- Het element wordt beschouwd als een SRM.
- Meer dan 70% van de elementen die in AEEA aanwezig zijn, kunnen in één categorie worden teruggevonden.
- De hoeveelheid van het element in AEEA voldoet aan ruim 3% van de vraag in de EU.

De elementen die niet bijdragen aan het behalen van de EU-doelstellingen zijn uitgesloten (Sb en Sr). Een samenvatting van de belangrijkste CRMs/SRMs als percentage van de EU-vraag, evenals de recyclingpercentages aan het einde van de levensduur van deze elementen, wordt gepresenteerd in tabel 7.

Tabel 6 Kandidaat-elementen voor verder onderzoek naar de rol van Nederland in dekking van de EU-behoefte

CRM/SRM	Huidig EU EoL-inputpercentage <sup>4</sup> voor recycling (Bobba et al., 2018)	Totaal afval gegenereerd uit AEEA (2020)	Totale EU-vraag (kg; gemiddelde 2016-2020)	Kans om tegemoet te komen aan de EU-vraag uit Nederlandse AEEA (%)	Voornamelijk geconcentreerd
Ni (legeringen)	34%	2 914 870	77 781 000	4%	Grote uitrusting
Nd	1%	37 879	119 000	31%	Grote apparatuur, meestal te vinden in magneten
Dy	0%	2 759	11 300	24%	
Tb	22%	346	5 900	6%	Lampen

Uit deze tabel halen we het volgende:

- De CRMs/SRMs die veelbelovende kandidaten zijn voor verdere beoordeling zijn sterk geconcentreerd in specifieke productcategorieën, namelijk grote apparatuur en lampen.
- Deze elementen hebben variërende recyclinginputpercentages, dat wil zeggen de hoeveelheid van de EU-vraag waaraan momenteel wordt voldaan door de recycling van dat element. Om beknoptere conclusies te kunnen trekken over de recyclingmogelijkheden is verder onderzoek nodig naar de huidige recyclingpraktijken en de economische, politieke en technologische knelpunten. Dit onderzoek is met name nodig voor Dysprosium en Neodymium, die in de EU beide een laag recyclingpercentage hebben.
- De trend voor alle bovengenoemde SRMs is stijgend, behalve Terbium. Dit zou erop kunnen wijzen dat de focus op Terbium op de korte termijn ligt, en op de andere op de korte en langere termijn.
- Daarnaast zijn er aanvullende SRMs die kunnen bijdragen aan de doelstellingen van de EU, maar op lagere niveaus. Deze zouden ook verder kunnen worden onderzocht op de mogelijkheden de stromen te combineren met AEEA uit andere landen.

<sup>4</sup>De gegevens over het recyclingpercentage aan het einde van de levensduur omvatten ook afval dat is verwerkt uit industriële processen of als bijproduct, en niet alleen post-consumptieprocessen; dit kan ertoe leiden dat bepaalde recyclingniveaus vrij hoog zijn, bijvoorbeeld Terbium.

Vanzelfsprekend zal Nederland niet per se een dominante positie verwerven in de terugwinnig van deze RMs en het daarmee voldoen aan de Europese streefwaardes. Het is wel een aanwijzing dat voor de meest interessante kandidaten de analyse uitgebreid zou moeten worden naar afvalstromen in alle EU-27-landen om het werkelijke potentieel van deze elementen op bredere EU-schaal te onderzoeken.

**Het is onnodig om te zeggen dat de bovenstaande bevindingen in hun context moeten worden geplaatst.** Hoewel het met betrekking tot CRMA-benchmarks relevant kan lijken om te investeren in recyclinginitiatieven voor enkele van de meest voorkomende materialen (zoals bijvoorbeeld Dysprosium en Neodymium), moeten er aanvullende overwegingen in aanmerking worden genomen. Om Dysprosium en Neodymium effectief terug te winnen is een robuuste Europese industrie die deze materialen kan verwerken essentieel. Hiervoor lijkt een onafhankelijke business case een uitdaging. Bovendien zou er zonder een afzetmarkt (dat wil zeggen een Europese magneetindustrie) geen sprake zijn van een succesvolle off-take van deze materialen. Dergelijke praktische implicaties moeten verder worden onderzocht in vervolgprojecten. Ten slotte is het belangrijk op te merken dat de End-of-Life Recycling Input Rate (EoL-RIR) onderhevig is aan verschillende schattingen uit verschillende bronnen. Voor onze analyse vertrouwen we op de studie van het JRC (2018), zoals weergegeven in **Figuur 15**, die het huidige percentage dat de huidige recycling bijdraagt aan de totale vraag naar een specifiek element illustreert: het (Bobba et al. , 2018)

Samenvattend geeft deze paragraaf aan welke CRMs/SRMs veelbelovend kunnen zijn en verder onderzocht (en gemonitord) moeten worden om inzicht te krijgen in het potentieel dat Nederland (in samenwerking met andere lidstaten) kan hebben. Bovendien geven de variërende recyclinginputpercentages aan dat 1) er elementen zijn die mogelijk al over functionele recyclingsystemen beschikken, maar wellicht extra stimulering behoeven (zoals nikkel en antimoon); en 2) dat er elementen zijn met een zeer lage tot afwezige recyclinginput (zoals Neodymium en Dysprosium).

Zoals gezegd is dit allemaal nog steeds theoretisch, omdat ook andere elementen van waarde kunnen zijn voor de positie van Nederland op basis van politieke, economische en technologische ontwikkelingen. Verschillende elementen kunnen als belangrijk worden beschouwd voor de Nederlandse economie op basis van verschillende criteria en hoe deze worden gewogen (zie bijvoorbeeld criteria die worden vermeld in de bijlage 7.6). De bovenstaande analyse houdt geen rekening met de huidige en opkomende technologische en economische factoren die mede bepalen of en waar deze CRMs kunnen worden teruggewonnen, en of ze uiteindelijk zullen worden teruggewonnen. Dit aspect zal verder worden onderzocht in het tweede deel van dit onderzoek. Ten slotte is het belangrijk om te benadrukken dat deze CRM/SRMs naar schatting verspreid zijn over meerdere producten binnen een productcategorie. Het identificeren van specifieke producten en de componenten die CRMs bevatten, zal belangrijk zijn in het waarmaken van de CRMA-streefwaardes.

## 5 Wat is er in de praktijk en wat zijn de mogelijkheden voor hetterugwinnen van CRM's/SRM's?

De belangrijkste conclusies uit dit gedeelte zijn:

1. CRM/SRM's worden momenteel niet in grote hoeveelheden teruggewonnen uit AEEA; veel ervan worden uiteindelijk versnipperd in andere gemengde metaal- of materiaalfracties. Bovendien is er geen duidelijke rapportage van de CRM/SRM's die wel worden teruggewonnen naar Stichting OPEN. CRM/SRM's die momenteel worden teruggevonden, zijn onder meer koper, nikkel, antimoon en palladium. In de statistieken van Stichting OPEN wordt alleen Koper gerapporteerd;
2. Er bestaan verschillende barrières die de terugwinning van CRM/SRM's uit AEEA belemmeren, zoals aangegeven door de recyclers. Over het algemeen hebben deze te maken met de lage concentratie en spreiding van materialen over veel verschillende productcategorieën, de ontbrekende informatie over het identificeren van de juiste CRM/SRM-bevattende producten, de kosten van gerecyclede materialen versus primaire materialen, en de beschikbaarheid van technologie om deze terug te winnen;
3. Dit onderzoek identificeerde echter een aantal hotspots voor specifieke terugwinning van CRM/SRM's in componenten en materialen in vijf van de zes AEEA-categorieën: grote apparatuur, lampen, schermen, IT en telecommunicatie en apparatuur voor temperatuuruitwisseling;
4. In deze sectie wordt aanbevolen dat de CRM's die in specifieke componenten en fracties in dit hoofdstuk zijn geïdentificeerd verder worden onderzocht met betrekking tot het gemak van scheiding en demontage, technologie en de vereiste business case;
5. Ten slotte wordt in dit onderdeel ook betoogd dat de volgende SRM's, binnen identificeerbare componenten of fracties binnen AEEA, het grootste potentieel hebben om bij te dragen aan de recyclingambities van de CRM Act: Dysprosium, Neodymium, Terbium, Magnesium, Mangaan, Praseodymium, Gallium, Kobalt, Koper en Cerium.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de interviews en een analyse van het AEEA-systeem in Nederland gepresenteerd. In het vorige hoofdstuk zijn gedetailleerde schattingen gegeven van de manier waarop CRM/SRM's over AEEA zijn verspreid, en van de hoeveelheden die verloren gaan. Dergelijke schattingen zijn echter alleen nuttig als ze terechtkomen in formele inzameling en adequate verwerkingsfaciliteiten. Dit hoofdstuk onderzoekt de praktische dynamiek van CRM/SRM-recycling en schetst wat de mogelijkheden zijn voor het terugwinnen van CRM/SRM's. Sectie 5.1. schetst de huidige praktijken en stromen van AEEA in Nederland, inclusief een kwantitatief overzicht van de materialen waarvan bekend is dat ze worden teruggewonnen en de huidige waardeketen. Paragraaf 5.2 schetst per productcategorie, de gebieden waar vermoedelijke 'hotspots' voor CRM/SRM bestaan en dus terugwinningmogelijkheden. Daarnaast worden barrières voor terugwinning gegeven en aanbevelingen om deze te overwinnen.

## 5.1 De huidige praktijk en stromen van AEEA in Nederland

### 5.1.1 De recyclingwaardeketen en CRM/SRM-inzamelingsniveaus

De recyclingketen voor AEEA in Nederland bestaat uit drie stappen: 1. inzameling, sortering en handmatige verwerking, 2. mechanische verwerking, en 3. Eindverwerking (smelten en/of materiaal terugwinning) (Meskers et al., 2023). De eerste stap betreft de inzameling en het transport bij erkende instanties, bijvoorbeeld gemeenten, supermarkten, bedrijven etc. In 2020 heeft Stichting OPEN 44% ingezameld op basis van de Put on Market (POM) (gemiddelde van 6 AEEA-categorieën inclusief zonnepanelen) (zie hoofdstuk 3). CRM/SRMs in producten die niet worden ingezameld zullen als verloren worden beschouwd voor verdere inzet. Een schatting van de verloren hoeveelheden is weergegeven in **Tabel 7**.

Tabel 7 Geschat tekort tussen geproduceerd afval en ingezamelde AEEA

Product categorie	CRM/SRM die het meest voorkomt in die productcategorie	Geschatte CRM/SRM uit gegenereerde AEEA kg	Geschatte hoeveelheid ingezameld in 2020 CRM/SRM kg	Geschat verschil (= niet ingezameld)
Lampen	Y	4 629	3 055	1574
	Ce	742	489	253
	Tb	310	204	106
	Co	22 029	14 539	7 490
	Nb	1 118	737	381
Schermen en monitoren	Zb	492 342	201 860	290 482
	Mg	372 565	152 751	219 814
	Sr	263 488	108 030	155 458
	Pd	99	40	59
	Ga	63	35	28
Kleine apparatuur	Bi	282	115	167
	Cu	7 364 000	2 135 560	5 228 440
	W	118 465	34 354	84 111
Kleine IT	Li	23	13	10
	Pt	2,7	1,5	1,2
	Ru	0,04	0,02	0,02
	Er	18	10	8
	Ge	6	3,4	2,6

	Sc	9,5	5,4	4,1
	Ho	0,6	0,3	0,3
	Pr	999	559	440
Apparatuur voor temperatuuruitwisseling Ni		1 153 652	784 483	369 169
Grote apparatuur	Nd	31 092	23 630	7 462
	Dy	2 144	1 629	515
	Mn	748 346	568 742	179 604

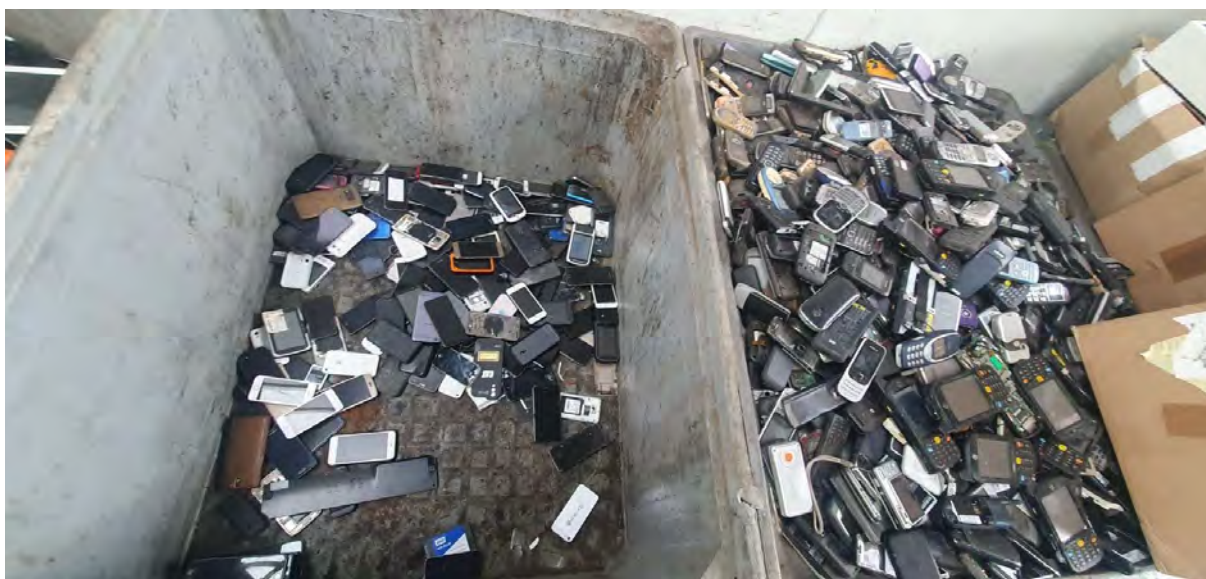
Zodra AEEA is ingezameld, omvat het proces de handmatige voorverwerking van AEEA tot fracties die passen bij de eindverwerkingsstappen. EU-eisen schrijven voor dat producten die batterijen bevatten (of ervan verdacht worden) en gevaarlijke stoffen (zoals geclassificeerd onder de REACH-richtlijn) gescheiden moeten worden voor specifieke behandelingen, zoals bijvoorbeeld kathodestraalbuizen of gloeilampen. Deze stap is minder afhankelijk van technologie, maar meer van handarbeid. De volgende stap bij de voorverwerking is de mechanische verwerking, waarbij specifieke AEEA-fracties worden behandeld om ze verder te concentreren, zodat ze geschikt zijn voor eindverwerking. Dit houdt in dat ze fysiek worden gescheiden in samenstellende delen en schone fracties. Deze processen bestaan doorgaans uit breekunits, shredders en magnetische, wervelstroom- en luchtafscidders. In Nederland resulteert dit in 15 hoofdfracties die worden gemonitord door Stichting OPEN. Tenslotte omvat de eindverwerking ofwel de recycling en raffinage van metalen of andere materialen, ofwel het storten of verbranden van niet-terugwinbare fracties.

De overgrote meerderheid van de AEEA-producten wordt niet verwerkt als een individuele productstroom, zoals bijvoorbeeld stofzuigers of haardrogers, maar in geaggregeerde productstromen, bijvoorbeeld kleine apparatuur (zie **Figuur 12** hieronder). Hoewel er bijvoorbeeld vier verschillende categorieën lampen zijn (compacte fluorescentielampen, buisfluorescentielampen, speciale lampen, bijvoorbeeld professionele lampen, kleine en grote lampen, en LED-lampen), worden alleen de fluorescentielampen afzonderlijk behandeld vanwege de aanwezigheid van kwik; alle anderen worden samen behandeld. Een gedetailleerd schema van het mechanische proces van lamprecycling wordt gegeven in bijlage 7.7. Een ander voorbeeld zijn mobiele telefoons, die apart van Small IT worden gesorteerd (zie **Figuur 13**).





*Figuur 12 Road2Work-mix van AEEA-producten. Bron Sara Wieclawska TNO*



*Figuur 13 Voorbeeld van sorteren van mobiele telefoons bij recycler. Bron Sara Wieclawska TNO*

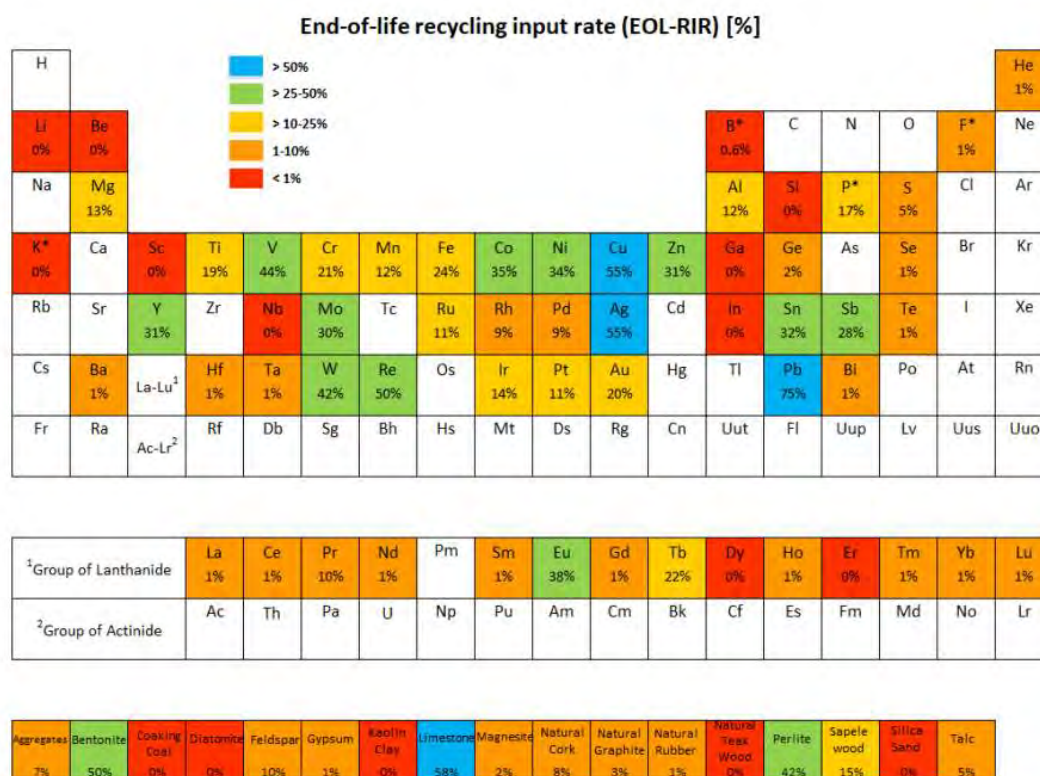
De huidige waardeketen voor AEEA-sortering en handmatige verwerking, mechanische verwerking en eindverwerking bestaat uit een scala aan bedrijven zowel binnen als buiten Nederland, weergegeven in **Figuur 14**. Belangrijk om op te merken is dat de sortering, de handmatige verwerking en de mechanische verwerking overwegend binnen Nederland plaatsvinden, terwijl de eindverwerking, bijvoorbeeld het smelten, in het buitenland plaatsvindt.



Figuur 14: De waardeketen voor de inzameling, sortering en nuttige toepassing van AEEA. Actoren worden geclassificeerd naargelang zij binnen of buiten Nederland gevestigd zijn

### 5.1.2 CRM- en SRM-terugwinningsniveaus

CRM/SRMs worden momenteel in verschillende mate uit alle sectoren teruggewonnen. **Figuur 15** schetst de huidige Europese recyclinginput aan het einde van de levensduur, d.w.z. de mate waarin de huidige recycling van elementen verband houdt met de EU-vraag. Verschillende elementen, zoals koper en nikkel, hebben al een hoog niveau; terwijl elementen als Neodymium, Gallium en Dysprosium vrijwel geen recycling ondergaan. In de officiële WEEE-gegevens ontbreekt echter systematische documentatie over de terugwinning van CRM/SRMs uit <sup>5</sup>AEEA.<sup>6</sup>



\* F = Fluorspar; P = Phosphate rock; K = Potash, Si = Silicon metal, B=Borates.

Figuur 15: Het huidige recyclingpercentage aan het einde van de levensduur, bijvoorbeeld het percentage dat de huidige recycling bijdraagt aan de totale vraag naar een specifiek element. ( Bobba et al., 2018 )<sup>7</sup>.

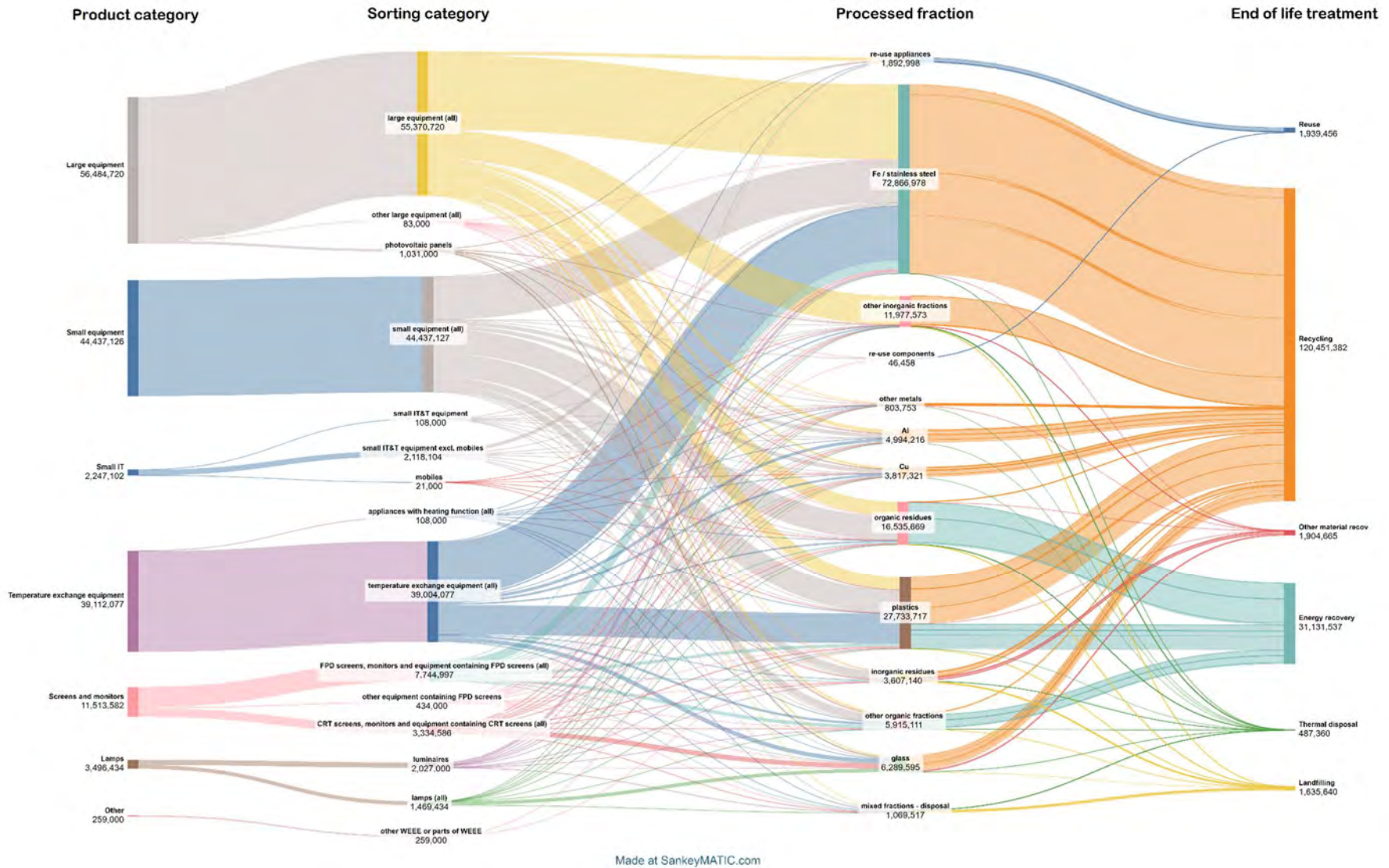
Wat AEEA betreft, wordt van alle CRM/SRM in de officiële rapportage van Stichting OPEN alleen van koper vermeld dat het wordt teruggewonnen. **Figuur 16** presenteert een Sankey-diagram van de huidige verwerkings- en terugwinningsresultaten uit Nederland. Er worden 15 zogenaamde 'monostromen' teruggewonnen en gerapporteerd, waarbij de overgrote meerderheid naar materiaalrecycling gaat (vooral bulkmetalen en kunststoffen), en een gedeelte wordt gestort of verbrand met energieterugwinning (vooral gemengde materiaalstromen). Voor een hoger terugwinningspercentage van CRM/SRMs zal moeten worden geïdentificeerd welke CRM/SRM zich waar bevinden .

<sup>5</sup>Een door de EU gefinancierd project ( FutuRam ) ontwikkelt een methode en kennisbasis voor het monitoren van secundaire grondstoffen binnen de EU, inclusief AEEA. Zie de projectwebsite voor details [Homepage - FutuRaM](#)

<sup>6</sup>Opmerking: Eén geïnterviewd recyclingbedrijf gaf aan dat zij al CRM-terugwinningshoeveelheden aanvragen bij de bedrijven waarmee zij contracten hebben gesloten.

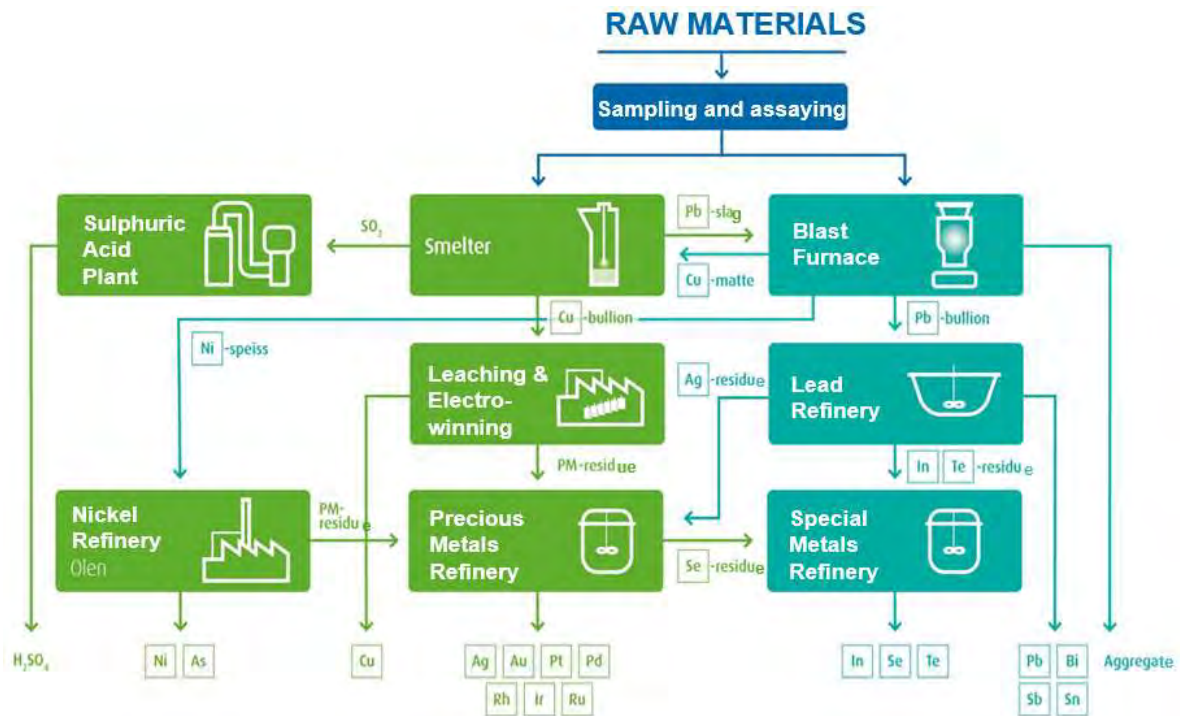
<sup>7</sup>Voor aanvullende informatie over de recyclingniveaus van CRM in de EU, zie (BIO van Deloitte, 2015)





Figuur 16: Sankey van terugwinningstromen van AEEA in NL (productcategorieën, fracties/sorteercategorie en terugwinningsopties van verschillende componenten)

Gespecialiseerde bedrijven halen al CRM/SRMs uit AEEA terug. Figuur 17 schetst het verwerkingsproces van het Belgische bedrijf Umicore, dat onder meer versnipperde e-waste-fracties en printplaten verwerkt. CRM/SRMs die zeker uit AEEA worden teruggewonnen, zijn onder meer: koper, palladium, nikkel en antimoon. Er wordt aangegeven dat terugwinning van andere lementen mogelijk is, maar dat dit afhankelijk is van de concentratie binnen de afvalfracties. Wat ook belangrijk is om op te merken is dat niet al het smelten en de uiteindelijke terugwinning van materiaal binnen de EU plaatsvindt, bijvoorbeeld voor onder meer koper, palladium, nikkel, aluminium en antimoon. Zo transporteert MM Metal Recycling, eigendom van de Japanse Mitsubishi-groep, CRM/SRM-houdende fracties naar het buitenland voor eindverwerking.



Figuur 17: Huidig terugwinningsproces van Umicore België. CRM/SRMs worden teruggewonnen uit AEEA-fracties en PCB's. Gebruikt met toestemming van Umicore.

### 5.1.3 Samenvatting

Samenvattend kunnen we, kijkend naar de bestaande praktijk en prestaties van AEEA-recycling in Nederland, en het verband met CRM/SRMs, de volgende conclusies trekken. Ten eerste varieert de EoL-recycling-input-rate tussen CRM/SRMs. Sommige materialen, zoals koper, worden in hoge mate gerecycled, andere, zoals dysprosium en neodymium, worden nauwelijks gerecycled. Dit suggereert dat technologische verbeteringen nodig zijn om deze niveaus te verhogen in overeenstemming met de benchmarks van de CRM Act. Omgekeerd zijn de stappen voor de verwerking van de collectie in Nederland goed georganiseerd, met een goede datakwaliteit en meerdere in Nederland gevestigde partijen die handmatige en mechanische verwerking uitvoeren, en bedrijven in het buitenland die zich bezighouden met specialistische behandeling en eindverwerking, bijvoorbeeld lampenbehandeling en smelten. Er gaapt echter een kloof tussen de geproduceerde (A)EEA, en het AEEA dat door Stichting OPEN wordt ingezameld, waardoor materialen niet gedocumenteerd zijn of verloren gaan. Het verhogen van de huidige inzamelingsniveaus zou de bron van potentiële CRMs vergroten en de terugwinning van materialen zoals nikkel en koper vergroten.

Van de AEEA die wordt ingezameld, worden bepaalde CRM/SRMs die al zijn teruggewonnen, zoals Koper, gerapporteerd in de officiële dataset van Stichting OPEN. Andere materialen, zoals palladium, nikkel en antimoon,

worden ook teruggewonnen uit de smelterijen, maar hierover worden geen gegevens officieel gerapporteerd<sup>8</sup>. Dit is dus een kwestie van ontbrekende transparantie in de rapportage van CRM/SRMs binnen het systeem.

Geen van de in Nederland opererende bedrijven wint de CRM/SRMs direct terug als grondstof. Deze materialen bevinden zich in gescheiden fracties en worden naar recyclingfaciliteiten gestuurd voor verdere verwerking in het buitenland, bijvoorbeeld materiaal terugwinning bij Umicore. Een belangrijke barrière is dat CRM/SRMs vaak verspreid zijn in verschillende concentraties en over veel verschillende producten. Dit maakt het identificeren van componenten die SRMs bevatten een uitdaging voor handmatige en mechanische scheiding. Bijgevolg komen veel CRM/SRMs terecht in andere materiaalfracties, bijvoorbeeld aluminium, koper of gemengde fracties. Ten slotte zijn de beleidsprikkel voor de inzameling en nuttige toepassing van AEEA gebaseerd op een massabalans, bijvoorbeeld het behalen van de inzamelingsdoelstellingen van 65% en de daarmee samenhangende doelstellingen voor nuttige toepassing. Dit beperkt de prikkels voor terugwinning van lage volumes.

## 5.2 Barrières voor CRM/SRM-terugwinning uit AEEA, zoals waargenomen door recyclers en hotspots van componenten en materialen, die verder onderzocht moeten worden

In de volgende subparagraaf wordt geschetst in welke productcategorieën CRM/SRM 'hotspots' aanwezig kunnen zijn die bij verder onderzoek terugwinningmogelijkheden zouden kunnen worden. Hier wordt een hot spot kwalitatief gezien als een combinatie van i) het kunnen identificeren (met de hoogste mate van zekerheid) van de locatie (een component of verwerkte materiaalfractie) binnen een productcategorie van een specifiek CRM/SRM (met behulp van de ProSUM- database en literatuur); en ii) tot een hoeveelheid die op basis van de interviews interessant werd geacht. In deze fase is nog niet gekeken naar een mogelijke bestaande business case (en bijbehorende technologie) en dus geen inschatting van het daadwerkelijke potentieel. Dergelijke onderzoeken moeten op een later tijdstip worden uitgevoerd. In plaats daarvan worden belemmeringen voor terugwinning gegeven, zoals genoemd in de interviews. Deze worden geclassificeerd volgens het 'recovery framework' van de UNFC: Sociaal-economisch, kwantiteit, haalbaarheid, dwz technologie (Verenigde Naties. Economische Commissie voor Europa, 2019). Ook worden er aanbevelingen per productgroep gegeven.

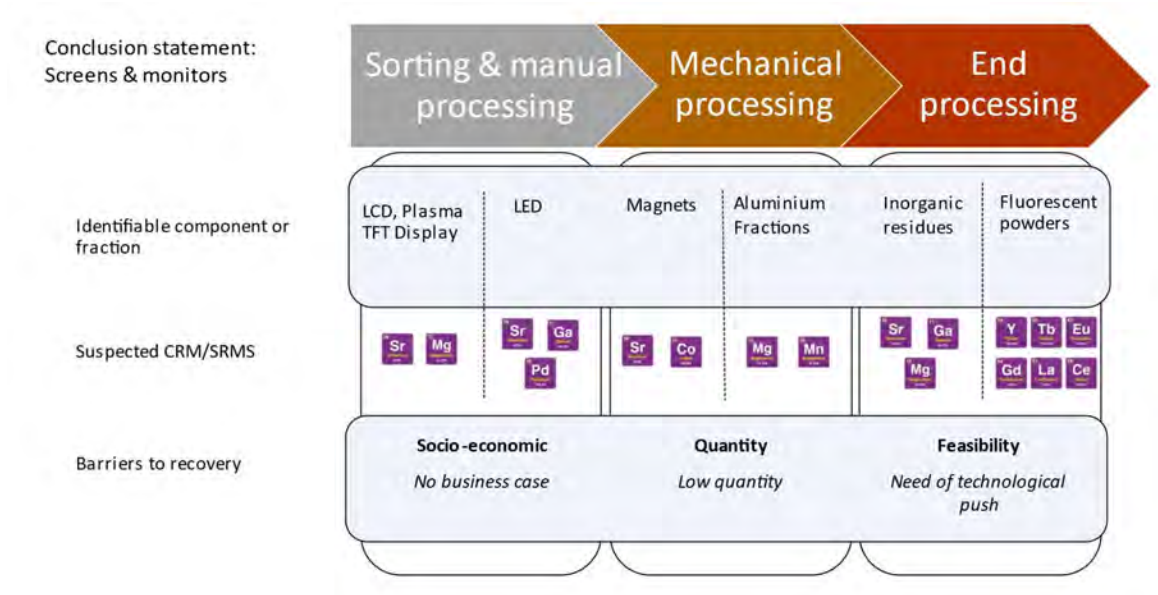
Hieronder worden per productcategorie de specifieke mogelijkheden beschreven. De productcategorie 'Kleine apparatuur' werd uitgesloten: ondanks dat Tungsten, een SRM, in grote hoeveelheden aanwezig was in verhouding tot de Nederlandse vraag (zie bijlage 7.5), werden tijdens de interviews geen concrete mogelijkheden ontdekt. Gezien het belang van dit element kunnen verdere verkenningen worden gedaan. Deze subsectie ondersteunt echter artikel 26 van de CRM-wet, waarin de lidstaten worden opgeroepen de hoeveelheden componenten die CRM/SRMs bevatten te identificeren en erover te rapporteren.

---

<sup>8</sup>Eén in Nederland gevestigde mechanische verwerker vraagt zijn volgende klanten, bijvoorbeeld smelterijen, al om hen informatie te verstrekken over welke CRM/SRM zij terugwinnen. Dit gebeurt vooruitlopend op de Wet CRM.

### 5.2.1 Schermen en monitoren

De CRM/SRM-terugwinningmogelijkheden voor schermen en monitoren worden weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18: Mogelijkheden voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning vanaf schermen en monitoren

De belangrijkste barrières voor de gehele productcategorie zoals aangegeven door de recyclers zijn:

- Er bestaat momenteel geen business case voor deze CRMs
- Lage hoeveelheden en lage concentraties CRM/SRMs

*“[De] waarde is voor sommige CRM’s te laag, dus geen economische levensvatbaarheid. Geen businesscase. Of een bepaald product wordt uitgefaseerd” – mechanische recycler*

Technologiestatus:

- Industriële toepassing: geen industriële processen beschikbaar voor het terugwinnen van materialen uit fluorescerende poeders.
- Technologieontwikkeling: geen lopende projecten gevonden.

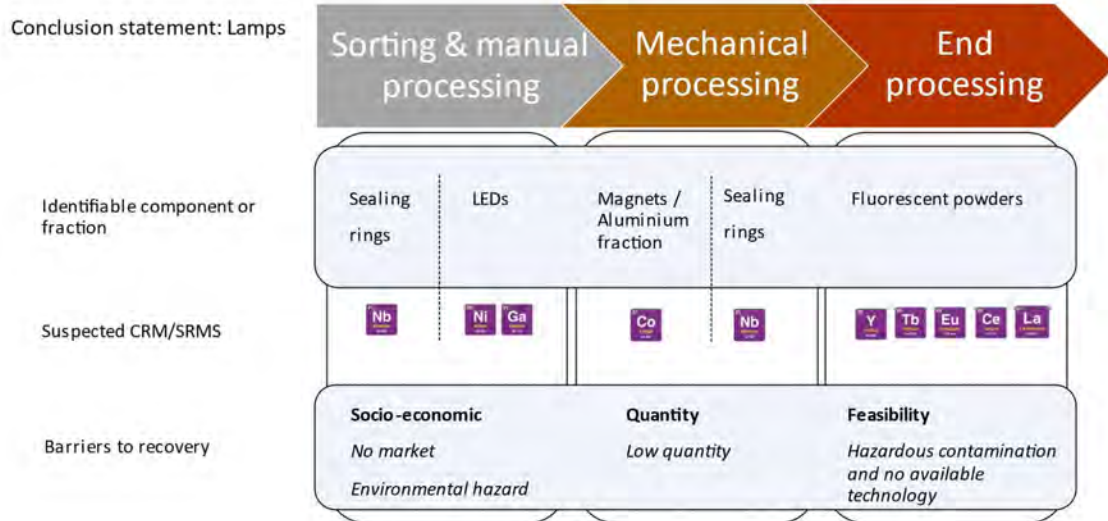
Aanbevelingen voor sorteerdere, handmatige en mechanische verwerkers:

- Investeer in technologieontwikkeling om gevaarlijke componenten, zoals kwik, te verwijderen om CRMs/SRMs veilig terug te winnen uit fluorescerende poeders. Voor deze CRM/SRM zou het meer de moeite waard zijn om de voorraden op stortplaatsen te onderzoeken in plaats van het geproduceerde afval. Dit komt omdat de producten waarin ze zitten, geleidelijk verdwijnen. Ze worden echter nog steeds op een stortplaats opgeslagen.
- Ontdek de business case voor het terugwinnen van materialen uit schermen en monitoren



### 5.2.2 Lampen

De CRM/SRM-mogelijkheden voor terugwinning voor lampen worden weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19 Kansen voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning vanuit Lampen

De belangrijkste barrières voor de gehele productcategorie zoals aangegeven door de recyclers zijn:

- Er bestaat geen Europese afstemming over de terugwinning van deze CRM/SRMs uit AEEA
- Er is onvoldoende prikkel om te focussen op kleinere hoeveelheden die aanwezig zijn
- Verontreiniging van materialen maakt terugwinning moeilijk

*"[Er zijn] in theorie veel leuke ideeën die niet op de vloer werken (praktisch onuitvoerbaar en gevaarlijk)"  
- mechanische recycler van lampen*

Technologiestatus:

- Industriële toepassing: geen industriële processen beschikbaar voor het terugwinnen van materialen uit fluorescerende poeders.
- Technologische ontwikkeling:
  - o H2020-project TARANTULA: eindresultaat is een TRL5-technologie om niobium, wolfram en tantaal uit afval terug te winnen (project eind 2023)

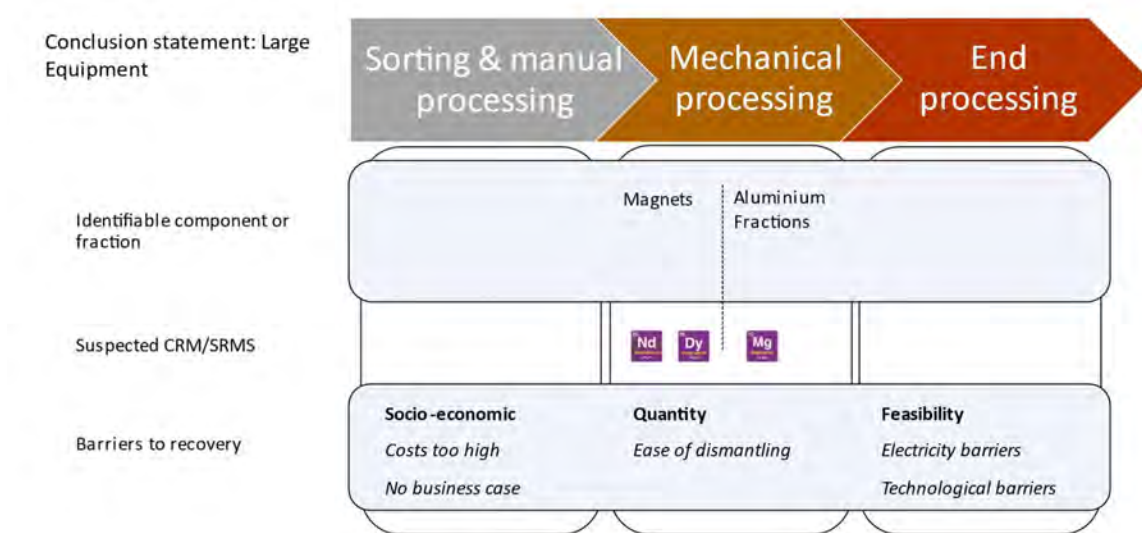
Aanbevelingen voor sorteerdere, handmatige en mechanische verwerkers

- Afdichtringen zouden kunnen worden geconcentreerd in de handmatige verwerkingsfase door een betere sortering van natrium- of halogenidelampen, maar als dit niet mogelijk is, zouden ze mechanisch kunnen worden gescheiden tijdens de mechanische verwerkingsfase.
- Investeer in technologieontwikkeling om gevaarlijke componenten, zoals kwik, te verwijderen om CRMs/SRMs veilig terug te winnen uit fluorescerende poeders. Naar aanleiding van de aanbeveling hierboven. Voor deze CRM/SRM zou het meer de moeite waard zijn om de voorraden op stortplaatsen te

onderzoeken, in tegenstelling tot het gegenereerde afval. Dit komt omdat de producten waarin ze zitten, geleidelijk verdwijnen. Ze worden echter nog steeds op een stortplaats opgeslagen.

### 5.2.3 Grote apparatuur

De CRM/SRM-mogelijkheden voor terugwinning voor grote apparatuur worden weergegeven in Figuur 20.



Figuur 20: Mogelijkheden voor het vergroten van het CRM/SRM-terugwinning van grote apparatuur

De belangrijkste barrières voor de gehele productcategorie zoals aangegeven door de recyclers zijn:

- De kosten voor het terugwinnen van de lage hoeveelheden die aanwezig zijn, zijn te hoog
- Er zijn alleen CRMs met een lage commerciële waarde aanwezig
- Voor het terugwinnen van meer CRMs is meer elektriciteit nodig die niet beschikbaar is op het elektriciteitsnet

*“Sb, Mg, Cu, Ni (maar in roestvrij staal), Nd (Dy).  
 Vanwege de hoeveelheid en de technologie die beschikbaar is, zijn ze de moeite waard om na te streven. Alle andere zijn het niet waard, of alleen ‘nice to have’” -  
 mechanische recycler grote apparatuur en kleine IT*

Technologiestatus:

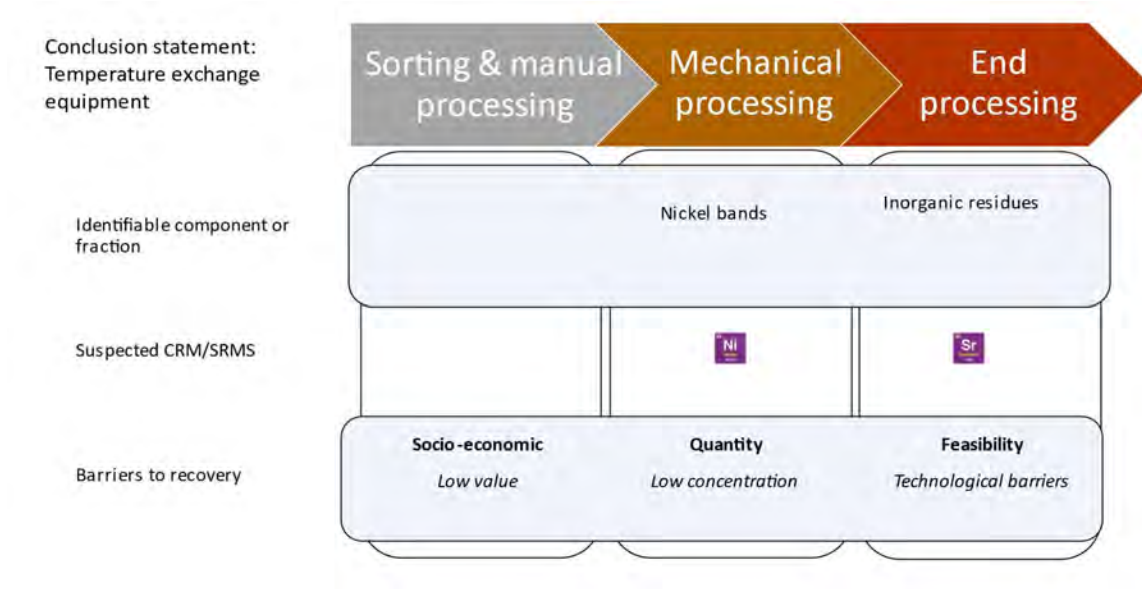
- Industriële toepassing: pyrometallurgische verwerking (Heraeus Remloy )
- Technologische ontwikkeling:
  - o H2020-project SUSMAGPRO: ontwikkeling van verschillende proeflijnen om NdFeB- magneten te produceren uit secundaire materialen op verschillende delen van het recyclingproces: geautomatiseerd sorteren (STENA Recycling), verwerking van magnetisch schroot (Magnetisch Ljubljana, MIMplus Technologies)

Aanbevelingen voor sorteerdere, handmatige en mechanische verwerkers:

- Testen van gemengde fracties op aanwezigheid van CRMs/SRMs.
- Ontdek de business case voor de demontage van magneten van grote apparatuur, bijvoorbeeld elektrische fietsen en kopieerapparaten voor gegevensopslag.

### 5.2.4 Apparatuur voor temperatuuruitwisseling

De CRM/SRM-mogelijkheden voor terugwinning voor temperatuuruitwisselingsapparatuur worden weergegeven in Figuur 21.



Figuur 21: Mogelijkheden voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning uit apparatuur voor temperatuuruitwisseling

De belangrijkste barrières voor de gehele productcategorie zoals aangegeven door de recyclers zijn:

- Lage waarde van de CRMs in deze productcategorie
- Uitfasering van CRMs, die niet meer in deze producten worden gebruikt
- Lage concentratie van de resterende CRMs

Technologiestatus:

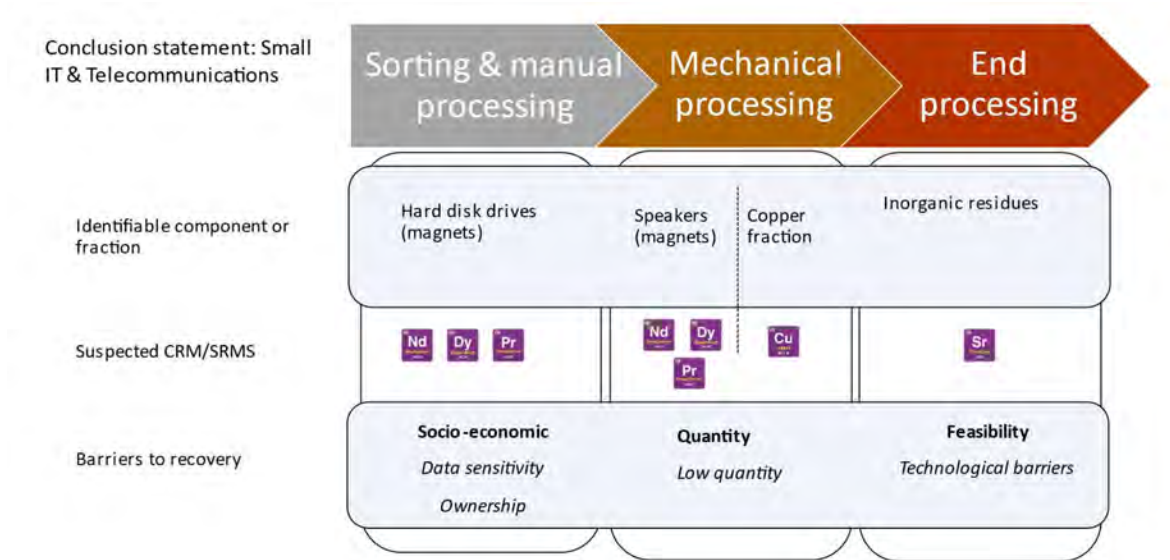
- Industriële toepassing: er is geen informatie gevonden over de terugwinning van Strontium op industriële schaal.
- Technologische ontwikkeling:
  - o NWO Circulaire Circuits: geoptimaliseerde sorteer- en recyclingprocessen voor terugwinning van CRMs/SRMs

Aanbevelingen voor sorteerdere, handmatige en mechanische verwerkers:

- Bepaal welke specifieke componenten een hoge strontiumconcentratie hebben om een business case voor ontmantelingsopties te verkennen.
- Controleer de aanwezigheid van strontium in gemengde afvalstromen van temperatuuruitwisselingsapparatuur.

### 5.2.5 Kleine IT en Telecommunicatie

De CRM/SRM-terugwiningsmogelijkheden voor IT- en telecommunicatieapparatuur worden weergegeven in Figuur 22.



Figuur 22: Kansen voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning uit kleine IT- en telecommunicatieapparatuur

De belangrijkste barrières voor de gehele productcategorie zoals aangegeven door de recyclers zijn:

- Er is sprake van gegevensgevoeligheid op harde schijven, en daarom wordt momenteel verzocht om vernietiging door degenen die ze weggooien
- Er zijn kleine hoeveelheden CRM/SRMs in de productcategorie
- Technologieën voor terugwinning van CRMs zijn nog niet ontwikkeld
- Het uitfaseren van dysprosium uit batterijen in draagbare elektronische apparaten maakt het niet de moeite waard om in terugwinning te investeren.

*“Veel technologieën die nog niet ontwikkeld zijn in combinatie met de hoeveelheden en waarde [van CRM's]” -  
mechanische recycler grote apparatuur en kleine IT*

Technologiestatus:

- Industriële toepassing: er is geen informatie gevonden over de terugwinning van Strontium op industriële schaal.
- Technologische ontwikkeling:
  - o H2020-project SUSMAGPRO: ontwikkeling van verschillende proeflijnen om NdFeB- magneten te produceren uit secundaire materialen op verschillende delen van het recyclingproces: geautomatiseerd sorteren (STENA Recycling), verwerking van magnetisch schroot (Magnetisch Ljubljana, MIMplus Technologies)



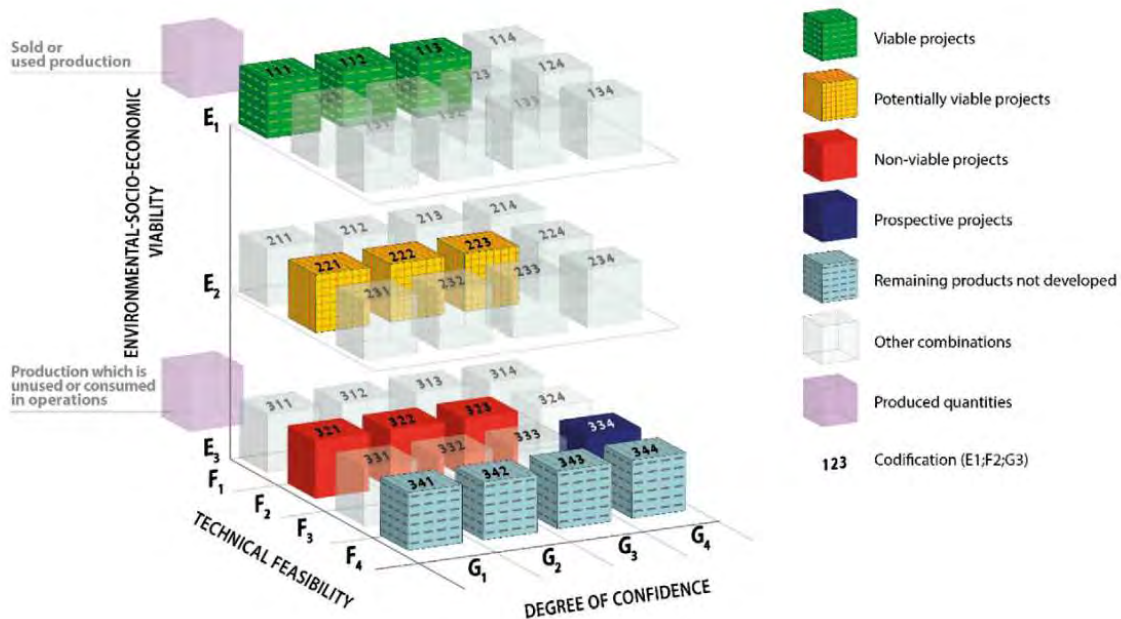
Aanbevelingen voor handmatige en mechanische processors:

- Ontdek de business case voor het demonteren van harde schijven uit laptops
- Investeer in technologieontwikkeling voor de terugwinning van Neodymium, Praseodymium en Dysprosium.

### 5.2.6 Meten van het daadwerkelijke potentieel van CRM-terugwinning uit AEEA

In de bovengenoemde subparagrafen zijn de potentiële hotspots aangegeven voor componenten en materialen die CRM/SRMs bevatten. Een beoordeling van het daadwerkelijke potentieel om deze terug te winnen ontbreekt echter. Om dat te doen is een grondige beoordeling van de technologie en de sociaal-economische status nodig. Er wordt voorgesteld dergelijk werk uit te voeren in het vervolg van dit onderzoeksproject (zie hoofdstuk 6.3). Hier presenteren we het voorgestelde raamwerk van waaruit een dergelijke beoordeling kan worden uitgevoerd. Het gebruikte raamwerk is het UNFC dat wordt gebruikt om de verschillende belemmeringen voor terugwinning te classificeren (Verenigde Naties, Economische Commissie voor Europa, 2019). Er wordt voorgesteld dit raamwerk te gebruiken om alle secundaire hulpbronnen in de CRM-wet te classificeren; daarom wordt het aangenomen als het voorgestelde beoordelingskader.

UNFC classificeert hulpbronnen op basis van een combinatie van de mate van vertrouwen in de kwantiteit van de hulpbron, de technologische haalbaarheid van het terugwinnen ervan, gekoppeld aan de sociaal-economische levensvatbaarheid. De combinatie van deze drie dimensies maakt een classificatie mogelijk op basis van de vraag of een hulpbronnenklasse levensvatbaar, potentieel levensvatbaar of alleen toekomstig is. Figuur 23 presenteert het raamwerk.



Figuur 23 Schematische weergave van de UNFC (Verenigde Naties. Economische Commissie voor Europa, 2019)

Koper uit AEEA als illustratief voorbeeld: Zoals vastgesteld, wordt koper al teruggewonnen uit AEEA, wat betekent dat er bestaande technologie en een bestaande levensvatbare business case bestaat. Op basis van de bovenstaande classificatie zou dit vallen onder “levensvatbare projecten”; Zoals in hoofdstuk 5.2 is uiteengezet, gaan er echter aanzienlijke hoeveelheden koper verloren, gezien de vrij lage inzamelingsniveaus van verschillende AEEA-stromen. Hier hebben we veel vertrouwen in de economische levensvatbaarheid en de technische haalbaarheid, maar minder

vertrouwen in de gegevens over deze hoeveelheden. Daarom stellen wij als aanbeveling dat het inzamelingsniveau moet worden verhoogd om de hoeveelheid koperterugwinning te vergroten, wat betekent dat dit een “potentieel levensvatbaar project” is. Dit voorbeeld illustreert hoe het raamwerk kan worden gebruikt om het potentieel van andere CRM/SRMs binnen AEEA te beoordelen. Om dat te doen is een beter begrip van de specifieke economische en technologische aspecten van elk materiaal nodig.

### 5.2.7 Samenvatting

Kortom, kijkend naar de potentiële 'hotspots' binnen AEEA lijken er componenten te zijn waarvan kan worden aangenomen dat ze CRM/SRMs bevatten binnen vijf van de zes productcategorieën: grote apparatuur, lampen, schermen, IT en telecommunicatie en apparatuur voor temperatuuruitwisseling. Dit breidt de verwachtingen voor het CRM-terugwinningspotentieel uit Nederlandse AEEA verder uit (TNO, 2023). Deze specifieke aandachtsgebieden voor CRM/SRM per productcategorie zijn samengevat en weergegeven in Tabel 8. Ze bieden een goed uitgangspunt met betrekking tot de identificatie- en rapportagevereisten van de CRMA.

Als we kijken naar de belemmeringen voor CRM-terugwinning uit AEEA, hebben deze meestal te maken met economische of technische aspecten. De door de geïnterviewden genoemde barrières werden onderverdeeld in drie typen: sociaal-economische, kwantiteits- of volumebarrières en haalbaarheidsbarrières. Voor de meeste AEEA-productcategorieën bestaan er belemmeringen voor alle drie de typen, waarbij de meest prominente belemmering de **hoeveelheden** zijn die kunnen worden teruggewonnen uit de specifieke productgroep of de componenten ervan. Zo zou de terugwinning van gallium en germanium niet rendabel zijn vanwege de lage concentraties ervan in PCB's. De combinatie van een gebrek aan nieuwe technologieën die terugwinning haalbaarder zouden kunnen maken en de bestaande prijzen van CRM/SRMs verminderen de algehele prikkel om ze terug te winnen. Over het algemeen zijn de kosten van terugwinning voor alle CRM/SRMs die momenteel niet worden teruggewonnen gewoon te hoog, terwijl sommige CRMs met een hoge waarde zulke lage hoeveelheden hebben of technologisch moeilijk terug te winnen zijn, wat ertoe leidt dat ze niet interessant zijn voor recyclers en bedrijven. smelterijen. Het uiteindelijke niveau van terugwinning hangt echter uiteindelijk af van het verhogen van de inzameling van AEEA (44% werd ingezameld in 2020), meer diepgaande kennis van de aanwezigheid van CRMs/SRMs in AEEA en verdere technologie voor het verkennen van businesscases. Wij stellen voor om het UNFC-raamwerk te gebruiken om deze materialen in de toekomst te beoordelen.

Tabel 8: Potentiële CRM/SRM-terugwinningsmogelijkheden uit AEEA

Product categorie	Identificeerbare componenten en/materiaalfractie	CRMs/SRM aanwezig of zeer verdacht	Trend product-/materiaalstro om 2019-2023	Huidige belemmeringen voor terugwinning	Technologiestatus of beschikbare businesscase
Grote apparatuur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Magneten (Elektrische fietsen &amp; dataopslag)</li> <li>Aluminium fractie</li> </ul>	Nd, Dy  mgr	+	Gegevensgevoeligheid Kosten om te scheiden Testen en validatie nodig	TRL 4-6  nvt
Lampen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niobium afdichtringen (gaslampen)</li> <li>LED's</li> <li>Magneten</li> <li>Fluorescerende poeders van fluorescentielampen</li> </ul>	Nb  Ni, Ga Co  Y, Ce, La, Eu & Tb	+ + +  -	Identificatie van producten en technologische en businesscase voor terugwinning  Technologische barrière voor decontaminatie.	nvt  nvt nvt  TRL 1-3
Schermen en monitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCD-, plasma-, TFT-scherm</li> <li>Magneten van FPD</li> <li>LED</li> <li>Aluminium fractie</li> <li>Anorganische residuen</li> <li>Fluorescerende poeders van CRT &amp; monitoren</li> </ul>	Sr, Mg, Ga Nd, Dy Sr, Co, Ga Mg & Mn Sr, Ga, Mg verdacht  Y, Tb, Eu, La, Ce	+ + + / /  -	Lage concentraties CRMs Identificatie van producten en technologische en businesscase voor terugwinning  CRM wordt niet meer gebruikt in de productie (uitfasering)	nvt TRL 4-6 nvt nvt nvt  TRL 1-3
IT- en telecommunicatieapparatuur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Harde schijven (desktopcomputers)</li> <li>Magneten (luidsprekers)</li> <li>Anorganische fracties of anorganische residuen</li> </ul>	Dy, Nd, Pr  Nd, Dy, Pr  sr	+  +  /	Gegevensgevoeligheid en -eigendom Lage hoeveelheden of concentraties Technologische barrières	TRL 4-6  TRL 4-6  nvt
Apparatuur voor temperatuuruitwisseling	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anorganische fracties of anorganische residuen</li> <li>Koperfractie</li> </ul>	Sr  Cu	/  +	Zeer lage hoeveelheden of CRM wordt niet meer gebruikt in een nieuw product (uitfasering). Het inzamelingspercentage voor koperhoudende producten zou hoger kunnen zijn.	nvt  9 (voor Cu)

Bovendien schetst de CRM Act benchmarks voor het behalen van 25% van het jaarlijkse verbruik van SRM door middel van recycling. Er zijn acht materialen binnen AEEA, geïdentificeerd in Tabel 9, die kunnen bijdragen aan deze ambities. Deze SRMs zijn: Dysprosium, Neodymium, Terbium (hoog bijdragepotentieel), Magnesium, Mangaan, Praseodymium, Gallium (gemiddeld bijdragepotentieel), Kobalt en Cerium (laag bijdragepotentieel). Daarnaast toont

de tabel elementen waar recycling al plaatsvindt, die ook zouden kunnen bijdragen als de inzamelingsniveaus worden verhoogd, bijvoorbeeld nikkel, koper en PGMs.

<p><b>Elementen/componenten die al op recycling gericht zijn en die kunnen worden uitgebreid</b></p> <p>Cu – Koper (13 647 602 kg)                  Ni – Nikkel (2 914 870 kg). Behalve in LED's wordt aangenomen dat nikkel op een hoog niveau wordt teruggewonnen, maar dit wordt niet gerapporteerd.                  PCB's – die al het doelwit zijn van eindverwerking, bijvoorbeeld smelterijen. Dit omvat: Cu, Sb, Ni en Pd                  PGM's – platina, iridium, osmium, ruthenium, rhodium, palladium. Terugwinning van PGM is het doelwit van smelters vanwege de marktwaarde.</p>	<p><b>Uitgesloten elementen vanwege lage volumes (&lt; 500 kg afval geproduceerd in 2020)</b></p> <p>Be – Beryllium (31 kg)                  Bi – Bismut (287 kg)                  Er – Erbium (18 kg)                  EU – Europium (322 kg)                  Ge – Germanium (11 kg)                  Ho – Holmium (1 kg)                  Li-Lithium (28 kg)                  Sc – Scandium (10 kg)                  Sm – Samarium (290 kg)                  V – Vanadium (109 kg)</p>
<p><b>Elementen die om andere redenen zijn uitgesloten</b></p> <p>Ta – Tantaal (1 470 kg) Uitgesloten vanwege onvoldoende informatie                  W – Wolfram (145.843 kg). Uitgesloten vanwege onvoldoende informatie                  Sb – Antimoon (499.948 kg). Uitgesloten vanwege de hoge concentratie bij CRT's, die wordt uitgefaseerd en waarvoor geen technologische oplossing bestaat. Sb uit kunststoffen en vlamvertragers <i>kunnen</i> wel worden teruggewonnen.                  Sr, Y, La, Nb zijn aanwezig in AEEA; ze zijn echter niet geassocieerd als SRM en zijn daarom niet onderworpen aan de benchmark voor 2030.</p>	<p><b>Elementen die potentieel kunnen bijdragen aan de recyclingbenchmarks van de CRM Act (Tabel 8)</b></p> <p><i>Hoog bijdragepotentieel</i>                  Dy – Dysprosium                  Nd - Neodymium                  Tb – Terbium</p> <p><i>Middelgroot bijdragepotentieel</i>                  Mg – Magnesium                  Mn – Mangaan                  Pr – Praseodymium                  Ga-gallium</p> <p><i>Laag bijdragepotentieel</i>                  Ce – Cerium                  Ko-kobalt</p>

Tabel 9: SRMs die zouden kunnen bijdragen aan de recyclingambitie van de CRM Act van 25%

## 6 Conclusies , aanbevelingen en volgende stappen

### 6.1 Conclusies

Concluderend is in dit rapport onderzocht welke positie Nederland kan innemen ten aanzien van het aanbod van CRMs (zoals gesuggereerd door de recyclingbenchmarks beschreven in de CRMA), en meer specifiek ten aanzien van het aanbod van CRMs uit AEEA (een voorgesteld monitoringsgebied van de CRMA). Om dit te doen zijn de volgende vragen onderzocht:

1. Welke CRMs en SRMs zijn aanwezig in de Nederlandse 'stedelijke mijn' (in dit onderzoek richten we ons op Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen)?
2. Welke mogelijkheden zijn er voor het terugwinnen of vergroten van de terugwinning van CRM/SRM uit Nederlandse afgedankte elektrische en elektronische goederen ?
3. Welke nationale beleidsmaatregelen kunnen terugwinning van CRM/SRMs in Nederland verbeteren?

De overkoepelende conclusies voor vraag 1) en 2) zijn als volgt. Vraag 3) beantwoorden we in paragraaf 6.2.

#### CRMs en SRMs in Nederlandse AEEA en kansen voor meer terugwinning

Bij het onderzoeken van CRMs en SRMs binnen de Nederlandse afvalelektronica ontdekken we dat er zowel uitdagingen als kansen bestaan met betrekking tot verbeterde terugwinning.

CRMs/SRMs die in kleine hoeveelheden aanwezig zijn, zoals lithium en vanadium, maar ook materialen die in grotere hoeveelheden aanwezig zijn, zoals yttrium en nikkel, zijn verspreid over verschillende producten, zoals weergegeven in Figuur 8. De diverse samenstelling van elektronica bemoeilijkt recyclinginspanningen. Alleen al printplaten (PCB's) bevatten waardevolle metalen zoals goud en koper, naast halfgeleiders zoals gallium. Andere componenten zoals magneten en luminescente materialen voegen elementen als neodymium, boor en zeldzame aardelementen (REE's) toe aan de mix. Deze complexiteit vermindert de winbare hoeveelheid, gezien het brede scala aan elementen die in verschillende combinaties worden gebruikt.

Ondanks uitdagingen bestaan er mogelijkheden voor het vergroten van CRM/SRM-terugwinning in verschillende productcategorieën, waaronder grote apparatuur, lampen, schermen, IT en telecommunicatie en apparatuur voor temperatuuruitwisseling. Als we kijken naar de belemmeringen voor CRM-terugwinning uit AEEA, hebben deze meestal te maken met economische of technische aspecten. De door de geïnterviewden genoemde barrières werden onderverdeeld in drie typen: sociaal-economische, kwantiteits- of volumebarrières en haalbaarheidsbarrières. Voor de meeste AEEA-productcategorieën bestaan er belemmeringen voor alle drie de typen, waarbij de meest prominente belemmering de **hoeveelheden** zijn die kunnen worden teruggewonnen uit de specifieke productgroep of de componenten ervan. Zo zou de terugwinning van gallium en germanium niet rendabel zijn vanwege de lage concentraties ervan in PCB's. De combinatie van een gebrek aan nieuwe technologieën die terugwinning haalbaarder zouden kunnen maken en de bestaande prijzen van CRM/SRMs verminderen de algehele prikkel om ze terug te winnen. Over het algemeen zijn de kosten van terugwinning voor alle CRM/SRMs die momenteel niet worden teruggewonnen gewoon te hoog, terwijl sommige CRMs met een hoge waarde zulke lage hoeveelheden hebben of technologisch moeilijk terug te winnen zijn, wat ertoe leidt dat ze niet interessant zijn voor recyclers en bedrijven. smelterijen. Het uiteindelijke niveau van terugwinning hangt echter uiteindelijk af van het verhogen van de inzameling van AEEA (44% werd ingezameld in 2020), meer diepgaande kennis van de aanwezigheid van CRMs/SRMs in AEEA en verdere technologie voor het verkennen van businesscases. Wij stellen voor om het UNFC-raamwerk te gebruiken om deze materialen in de toekomst te beoordelen.

Tabel 8 voor een overzicht van deze hotspots).

Met name de volgende SRMs hebben het potentieel om bij te dragen aan de benchmarks van de CRM Act: Dysprosium, Neodymium, Terbium (hoog bijdragepotentieel), Magnesium, Mangaan, Koper, Praseodymium, Gallium (gemiddeld bijdragepotentieel) en Cerium en kobalt (laag bijdragepotentieel).

Hoewel er potentiële mogelijkheden bestaan, blijkt de beschikbaarheid van voldoende en voldoende gedetailleerde gegevens over AEEA onvoldoende is. Hoewel veel van de beschikbare gegevens geschikt zijn voor beleidsdoelstellingen, schieten ze tekort in het leveren van gedetailleerde kennis die essentieel is voor praktische toepassingen, vooral in de handmatige en mechanische verwerkingsfasen. De ProSUM-gegevens bieden bijvoorbeeld waardevolle inzichten, maar het geaggregeerde niveau ervan beperkt de bruikbaarheid ervan, dat wil zeggen dat er slechts openbare gegevens zijn tot 2020 en op productcategorie-niveau, niet op productniveau, zoals bijvoorbeeld wasmachines en e-bikes. Er zijn meer actuele gegevens nodig. AEEA-stromen zijn ingewikkeld en bestaan uit verschillende productsoorten die jaarlijks kunnen veranderen. Bovendien is het EU-beleid gebaseerd op rapportage en recycling op basis van massa, waardoor de prikkel voor CRM-terugwinning afneemt en over die terugwinning ook niet wordt gerapporteerd. Er moeten daarom prikkels worden gecreëerd; in de volgende paragraaf geven we hiervoor enkele concrete aanbevelingen.

Tenslotte moet niet alleen terugwinning van CRM/SRM aan het einde van de levensduur worden vergroot, maar ook aandacht worden gegeven aan andere circulaire strategieën om onze afhankelijkheid van CRMs te verminderen. In overeenstemming met de Kaderrichtlijn Afval en de beginselen van de circulaire economie, moeten de inspanningen zich richten op het verlengen van de levensduur van producten en het hergebruiken van componenten.

Samenvattend kunnen we concluderen dat, ondanks het potentieel voor CRM/SRM-terugwinning uit AEEA, er problemen blijven bestaan als gevolg van inadequate productinformatie, CRM-verspreiding over verschillende producten en economische/technologische barrières. Hoewel er een mogelijkheid bestaat om CRMs/SRMs uit AEEA terug te winnen, moet deze ambitie selectief zijn, gezien de lage concentraties van de elementen en de terugwinningsproblemen. Niet alle SRMs in AEEA moeten worden onderworpen aan de CRM Act-benchmarks. Bovendien mag de benchmark van 25% in de context van AEEA niet als een rigide doel worden gezien. Er moet worden overwogen om flexibiliteit in deze ambities toe te staan, om rekening te houden met de verschillende volumes binnen AEEA.

## 6.2 Aanbevelingen voor het vergroten van het CRM/SRM-terugwinning uit AEEA

In de volgende subparagraaf worden beleidsaanbevelingen uiteengezet om de terugwinning van CRMs/SRMs uit Nederlandse AEEA te vergroten. De aanbevelingen spelen in op verschillende geïdentificeerde barrières met betrekking tot datakwaliteit en transparantie, en het huidige beleidsontwerp. We doen de volgende vier aanbevelingen om een beter beeld te krijgen van de 'urban mine', en om het terugwinningspotentieel ervan te vergroten.

1. **De exacte samenstelling van elektronische producten of afvalstromen is onbekend, wat het voor beleidsmakers complex maakt om doelen te stellen voor terugwinning en voor recyclers om focus aan te brengen.**

Zoals eerder vermeld: vanwege het gebrek aan transparantie in de waardeketen en het gebrek aan gedetailleerde gegevens van productsamenstellingen, weten producentenverantwoordelijkheidsorganisaties en mechanische verwerkers vaak niet wat de CRM/SRM-inhoud is van de producten die ze behandelen<sup>9</sup>. Dit verhindert dat ze specifieke terugwinningstrajecten ontwikkelen. Een consistent overzicht van de CRM/SRM-inhoud van producten die op de markt worden gebracht, in voorraad zijn en in het geproduceerde afval, is nodig om betere langetermijnbeslissingen te

---

<sup>9</sup>Op EU-niveau wordt het i4R-platform gebruikt om recyclers informatie te verstrekken over de materiaalinhoud. Deze informatie wordt niet vaak gebruikt of bevat niet voldoende informatie over CRM/SRM om bruikbaar te zijn.

nemen over het terugwinningspotentieel.

- a) **Aanbeveling (beleid/NL): iedere producent die een elektrisch of elektronisch product op de Nederlandse markt brengt, moet aangeven welke CRMs in dit product zitten (zoals bijvoorbeeld in Frankrijk gebeurt).**

Op de lange termijn zal de stap van de EU in de richting van materiaalpaspoorten de inhoud van producten en de transparantie duidelijker maken. Dit treedt echter pas in of na 2027 in werking en zal de inputkennis voor recyclingpraktijken de komende 10-15 jaar niet beïnvloeden (afhankelijk van de levensduur van het betreffende product). Dit draagt derhalve niet bij aan de directe inspanning om de kennis over de samenstelling van nieuwe producten die op de Nederlandse markt worden gebracht te vergroten. Daarom stellen wij voor dat Nederlandse producenten (een brede term voor OEM's, importeurs en distributeurs) bij Stichting OPEN de aanwezigheid en hoeveelheid CRM/SRMs in hun producten moeten melden voor alle nieuwe producten die op de Nederlandse markt worden gebracht. Eén manier om dit te bereiken is dat de Nederlandse overheid deze eis verplicht stelt in de Algemeen Verbindend Verklaring van Stichting OPEN (AVV). Dit gebeurde in Frankrijk<sup>10</sup>. Deze gegevens moeten worden verzameld en opgeslagen door Stichting OPEN, aangezien zij momenteel fungeert als een 'black box' voor alle huidige producenten om de hoeveelheden aan te geven die zij op de Nederlandse markt brengen.

- b) **Aanbeveling (beleid/NL): Voor publieke transparantie: er moet beter gebruik worden gemaakt van openbare databanken voor bestaand afval .**

Er bestaat al een bestaande database over CRM/SRMs ( ProSUM ), die wordt bijgewerkt in een volgend EU-project ( FutuRaM ). Hoewel deze database zich op Europees niveau bevindt, bestrijkt deze heel Nederland. Deze database wordt momenteel beheerd door de UNITAR SCYCLE- eenheid. De openbare gegevens bestrijken slechts 2020, maar de metagegevens maken actuelere schattingen mogelijk. Deze database zou moeten worden gekoppeld aan de AEEA-gegevens die worden beheerd door Stichting OPEN om een gedetailleerd beeld te geven van de CRM/SRM-samenstelling van AEEA. Indien overeengekomen door andere partijen, bijvoorbeeld Rijkswaterstaat, Stichting OPEN en onderzoeksorganisaties, zou de NMO deze dataset moeten gebruiken om de monitoring van secundaire materiaalstromen te onderbouwen, specifiek voor batterijen, AEEA en EV. Er wordt een samenwerking voorgesteld tussen UNITAR, Stichting OPEN, TNO en/of de Nederlandse overheid over hoe deze dataset kan worden gebruikt ter ondersteuning van de monitoring en potentiële doelstellingen voor terugwinning van CRM/SRM's.

- c) Stichting OPEN en/of mechanische verwerkingsbedrijven zouden systematisch laboratoriumtests kunnen uitvoeren op producten waarvan wordt vermoed dat ze CRMs/SRMs bevatten en de teruggewonnen fracties daarvan. Dit helpt bij het opbouwen van een overzicht van de CRM/SRM-inhoud in bestaande voorraden en gegenereerd afval. Deze oplossing kan ook worden gecombineerd met het voortbouwen op de database van UNITAR om de volledigheid van de gegevens te verbeteren. Wij raden aan om te beginnen met de componenten en/of materialen die in Tabel 11 staan vermeld.

2. **Het beleid stimuleert momenteel alleen het terugwinnen en rapporteren van de totale massa aan materialen – op deze manier wordt het niet gestimuleerd om specifieke materialen terug te winnen die klein in hoeveelheid zijn (hoe belangrijk/strategisch ook).**

Recyclers zijn verplicht om bepaalde percentages van verschillende materialen terug te winnen en te recyclen. productgroepen. Doelstellingen voor specifieke (kritieke grondstoffen) materialen worden echter

---

<sup>10</sup>Informatie hierover verstrekt door UNITAR via een persoonlijke communicatie.



niet gegeven.

a) **Aanbeveling (beleid/EU): verhoog de transparantie en het detailniveau van de rapportage tot aan de smelterijen .**

De bestaande rapportagevereisten moeten worden uitgebreid tot CRM/SRMs en componenten die CRM/SRMs bevatten. Bovendien moet de reikwijdte van wie moet rapporteren worden uitgebreid tot niet alleen erkende recyclers, bijvoorbeeld mechanische verwerkers, maar ook daaropvolgende materiaaltherugwinningsactiviteiten, bijvoorbeeld smelterijen. Deze informatie moet worden verzameld en bewaard door Stichting OPEN of door het Nederlandse AEEA-register (als neutrale actor). Het doel is om de kennis te vergroten van wat al is teruggevonden en uit welke componenten deze elementen voortkomen. Niet alle CRM/SRM zijn echter relevant om systematisch te worden gemonitord binnen AEEA. Een voorlopige lijst zou Dysprosium, Neodymium, Praseodymium, Terbium, Gallium, Mangaan, Magnesium, Cerium, Kobalt, Nikkel en Koper kunnen omvatten. Deze aanbeveling ondersteunt artikel 26 van de CRM Act, dat oproept tot een grotere transparantie van de rapportage over AEEA.

b) **Aanbeveling (beleid/EU en NL): verhoog de prikkels voor het terugwinnen van materialen in kleinere hoeveelheden.**

De Nederlandse overheid zou de Europese Commissie moeten raadplegen <sup>11</sup>over de actualisering van de AEEA-richtlijn (die momenteel wordt herzien), om de inzamelings- en terugwinningsdoelstellingen verder te specificeren, zodat ook CRM/SRMs daarin kunnen worden opgenomen. Er moeten structurele prikkels in de richtlijn worden ingebouwd om de scheiding van componenten, zoals magneten van luidsprekers, flatscreens en grote apparatuur, te vergroten voor een betere eindverwerking.

3. **Er is een hoeveelheid producten in huishoudens die niet in gebruik zijn en ook niet apart gesorteerd worden.**

Ongeveer 9% van het gewicht van de producten in de voorraad is ongebruikt of kapot. Deze opeenstapeling van ongebruikte apparaten vertegenwoordigt een belangrijke potentiële bron van CRMs binnen AEEA. Om dit potentieel te ontsluiten zijn effectieve strategieën nodig voor het verzamelen, sorteren en recyclen van deze ongebruikte apparaten.

a) **Aanbeveling (beleid/NL): stimuleer een betere verwijdering door consumenten en inzameling van producten die momenteel verloren gaan.**

b) **Aanbeveling (beleid/NL): stimuleer een betere voorscheiding van producten/componenten die CRMs bevatten -> specifiek voor Stichting OPEN.**

4. **Er is behoefte aan meer CRM-terugwinning in 2030, wat een intensievere samenwerking van verschillende partijen, kennis- en technologieontwikkeling en regelgeving en randvoorwaarden vereist .**

**Aanbeveling (NL): zorg voor een gecoördineerde routekaart die alle randvoorwaarden, R&D en waardeketenintegratie voor terugwinning van CRMs combineert.**

Eén optie om alle overkoepelende problemen en aanbevelingen die hierboven zijn geschetst aan te pakken, is dat de Nederlandse overheid een routekaart en innovatieagenda ontwikkelt voor het vergroten van terugwinning van CRM/SRMs. Dit moet worden ontworpen met aangesloten AEEA-partners, bijvoorbeeld Stichting OPEN, Rijkswaterstaat, sorteerdere, UNITAR, recyclers, onderzoeksinstituten en aangesloten universiteiten. Het moet de ambitie vastleggen om tegen 2030 bij te dragen aan de benchmark van 25% van het jaarlijkse verbruik van SRM in de EU. Binnen deze routekaart moet een innovatieagenda worden

---

<sup>11</sup> Specifiek DG-Milieu

ontwikkeld. Niet alle CRM/SRMs moeten in deze routekaart worden opgenomen; de in Tabel 10 moeten de basis en de focus van de routekaart vormen. Deze agenda zou de stand van zaken en specifieke behoeften van deze partners moeten omvatten om kansen te creëren uit Nederlandse AEEA en uiteindelijk bij te dragen aan de doelstellingen van de EU CRM Act voor 2030. Deze innovatieagenda zou gebaseerd moeten zijn op de volgende drie pijlers:

- Kennis en technologie, gericht op het stimuleren van onderzoek en technologische innovatie voor terugwinning van CRM/SRM;
- Business case en supply chain integratie, gericht op samenwerking tussen actoren (mogelijk buiten Nederland), noodzakelijke business cases en het opschalen van recyclingactiviteiten;
- Randvoorwaarden en marktactivatie, gericht op het bredere markt- en regelgevingsstelsel rond CRM/SRM-terugwinning en de introductie van gerecyclede materialen in de Nederlandse/Europese industrie.

Tabel 10 CRM/SRM-component en materiële hotspots voor verdere verkenning

Product category	Identifiable fraction / component	CRMs present or highly suspected	Main global supplier / producer	Contribution to EU annual consumption (sum of all WEEE categories)	Current Eu EoL recycling input rate (all EU waste sources)	Product put on market trend 2019-2023	TRL levels (estimated)	
Large equipment	Magnets	Dy	China	24%	0%	+	4-6	
		Nd		31%	1%			
Lamps	Magnets / LEDs	Co	DRC	0.3%	35%	+	/	
		Fluorescent powders	Ce	China	0.3%	1%	-	1-3
			Tb	China	6%	22%	-	
Screens and Monitors	Aluminium fraction & FPD	Mg	China	1.1%	13%	+	/	
		Mn	China/SA	0.7%	12%	+		
	LED	Ga	China	0.5%	0%	+	/	
Small IT	Hard disk drives & magnets	Pr (Dy & Nd)	China	1.2%	10%	-	4-6	
		Copper fraction	Cu	Chili	0.7%	55%	+	9

### 6.3 Volgende stappen voor het ondersteunen van de ontwikkeling van de NMO

Op basis van de resultaten uit dit onderzoek worden drie stappen geschetst.

In de eerste plaats om het onderzoek uit te breiden tot andere belangrijke en mogelijke bronnen van CRM/SRM uit afval dan AEEA. Een meer macro-perspectief zou de monitoringaspecten van de NMO ondersteunen, maar ook een indicatie geven van de afvalstromen waarop beleidsmakers zich moeten concentreren voor specifieke CRM/SRMs. Wij stellen voor om de hoeveelheden van verschillende producten en afvalstromen in kaart te brengen, naast schattingen voor de toekomstige beschikbaarheid van CRM/SRMs. De mogelijkheden hiervoor kunnen zijn: windturbines, PV, batterijen, auto's, elektrolyzers, infrastructuur, bodemas/stortplaatsen. Voor de product- en

afvalcategorieën batterijen, PV, AEEA en auto's stellen wij voor dat de NMO rechtstreeks samenwerkt met de aangesloten PRO's, bijvoorbeeld Stichting OPEN en ARN, naast UNITAR die over de meest uitgebreide gegevens beschikken over de product- en afvalsamenstelling. Voor de kwestie van de gegevenskwaliteit die in de conclusie wordt geschetst, is nauwe samenwerking met UNITAR essentieel. De geïdentificeerde bronnen van CRM/SRM moeten worden beoordeeld op technologische en economische levensvatbaarheid en haalbaarheid. Daarnaast roepen wij op tot een pan-EU-27 beoordeling van de prestaties van de inzameling en behandeling van afvalstromen en een indicatie van de best beschikbare verwerkingstechnologie.

Ten tweede werden in dit rapport veel componenten geïdentificeerd waarvan werd vermoed dat ze CRM/SRMs bevatten. Het werkelijke terugwinningpotentieel is echter nog onbekend. In dit rapport stellen we voor om het UNFC-raamwerk te gebruiken als basis om de voorgestelde materialen te verdiepen en te beoordelen op hun ware potentieel met betrekking tot sociaal-economische levensvatbaarheid, dwz wat is de monetaire waarde van de aanwezige CRM/SRMs en de technologische haalbaarheid in het licht van de hoeveelheden cadeau. Opnieuw samenwerken met UNITAR om meer actuele gegevens te verstrekken over de recente hoeveelheden AEEA zou dit ondersteunen.

## 7 Bijlagen

### 7.1 CRMs: namen, symbolen en hoeveelheid aanwezig in de AEEA-categorieën

In de onderstaande tabel worden alle CRMs vermeld. Voor elke CRM wordt de naam en het symbool vermeld en worden de SRMs in de derde kolom aangegeven met een 'X'. Kolommen 4-9 tonen een overzicht van de gevonden ProSUM-gegevens, dat wil zeggen het aantal verschillende CRMs in de verschillende productcategorieën. Bedragen worden afgerond op kg: “-” betekent dat er (volgens de gegevens) geen CRM aanwezig is in die categorie en “0” betekent dat <0,5 kg wordt aangetroffen. De laatste kolom geeft het totaal aan CRMs (kg) weer die in alle AEEA-categorieën voorkomen. De gegevens in de kolommen 4 tot en met 10 zijn afkomstig uit 2020.

Element	Symboolelement	SRM	Lampen	Schermen en monitoren	Kleine apparatuur	Kleine IT	Apparatuur voor temperatuuruitwisseling	Grote uitrusting	Totaal
Antimoon	Zb		34	492.342	1.527	4.685	242	1.118	499.948
Beryllium	Zijn		-	9	-	22	-	-	31
Bismut	Bi	X	-	282	-	5	-	-	287
Borium	B	X	-	-	-	-	-	-	-
Kobalt	Co	X	22.029	2.172	1.171	8.166	538	164	34.240
Koper	Cu	X	74.949	843.896	7.364.000	840.757	1.928.000	2.596.000	13.647.602
Gallium	Ga	X	2	64	17	64	3	12	163
Germanium	Ge	X	-	-	4	6	-	-	11
Indium	In		3	588	222	144	-	-	956
Strontium	sr		4	263.488	43.279	3.859	11.573	2.287	324.490
Yttrium	Y		4.629	21	-	6	-	-	4.655
Gadolinium	Gd	X	-	-	-	-	-	-	-
Terbium	Tb	X	310	-	-	36	-	-	346
Dysprosium	Dy	X	0	92	2	521	0	2.144	2.759
holmium	Hoe		-	-	-	1	-	0	1
Erbium	Hij		0	-	-	18	-	-	18
Thulium	Tm		-	-	-	-	-	-	-
Ytterbium	Ja		-	-	-	-	-	-	-
Lutetium	Lu		-	-	-	-	-	-	-
Scandium	Sc		-	-	-	10	-	1	10
Lanthaan	La		976	-	12	13	-	2	1.003
Cerium	Ce	X	742	291	8	17	0	3	1.061
Praseodymium	Pr	X	-	274	6	999	2	1	1.281
Neodymium	Nd	X	1	1.662	29	5.083	11	31.092	37.879
Promethium	P.m		-	-	-	-	-	-	-
Samarium	sm	X	-	-	-	290	-	-	290
Europium	EU		322	-	-	0	-	0	322
Lithium	Li	X	1	-	1	23	-	3	28
Magnesium	mgr	X	9.463	372.565	292.372	16.437	58.384	90.675	839.896
Mangaan	Mn	X	1.567	94.154	618.438	138.748	298.793	748.346	1.900.046
Natuurlijk grafiet	C	X	-	-	-	-	-	-	-

Element	Symboolelement	SRM	Lampen	Schermen en monitoren	Kleine apparatuur	Kleine IT	Apparatuur voor temperatuuruitwisseling	Grote uitrusting	Totaal
Nikkel (batterijkwaliteit)	Ni	X	19.017	28.938	563.000	79.496	1.153.652	1.070.767	2.914.870
Niobium	Nb		1.118	-	12	-	-	-	1.130
Ruthenium	Ru	X	-	-	-	0	-	-	0
Rhodium	Rh	X	-	-	2	2	-	-	4
Palladium	Pd	X	1	99	30	94	0	12	237
Platina	Pt	X	-	0	1	3	-	0	3
Osmium	Os	X	-	-	-	-	-	-	-
Iridium	Ir	X	-	-	-	-	-	-	-
Silicium metaal	Si	X	-	-	-	-	-	-	-
Tantaal	Ta		-	1.015	68	321	-	66	1.470
Titanium metaal	Ti	X	-	-	-	-	-	-	-
Wolfraam	W	X	7.717	21	118.465	1.933	3.613	14.094	145.843
Vanadium	V		-	-	37	22	7	44	109

## 7.2 Categorieën en voorbeelden van de EU AEEA-richtlijn

Hieronder geven we een overzicht van de categorieën en voorbeelden van de EU AEEA-richtlijnen (Richtlijn, 2012) .

Categorie	Voorbeelden
<b>1. Apparatuur voor temperatuuruitwisseling</b>	Koelkasten, Diepvriezers, Apparatuur die automatisch koude producten aflevert, Airconditioningapparatuur, Ontvochtigingsapparatuur, Warmtepompen, Radiatoren die olie bevatten en andere apparatuur voor temperatuuruitwisseling waarbij voor de temperatuuruitwisseling andere vloeistoffen dan water worden gebruikt.
<b>2. Schermen, monitoren en apparatuur waarin schermen zijn opgenomen met een oppervlak groter dan 100 cm<sup>2</sup></b>	Schermen, televisies, LCD-fotolijsten, monitoren, laptops, notebooks.
<b>3. Lampen</b>	Rechte fluorescentielampen, compacte fluorescentielampen, fluorescentielampen, hogedrukontladinglampen - inclusief druknatriumlampen en metaalhalogenidelampen, lagedruk natriumlampen, LED.
<b>4. Grote uitrusting</b>	Wasmachines, Wasdrogers, Vaatwasmachines, Fornuizen, Elektrische fornuizen, Elektrische kookplaten, Verlichtingsarmaturen, Apparatuur voor het reproduceren van geluid of beeld, Muziekapparatuur (met uitzondering van pijporgels geïnstalleerd in kerken), Apparaten voor breien en weven, Grote computermainframes, Grote drukmachines, kopieerapparatuur, grote speelautomaten, grote medische apparaten, grote monitoring- en controle-instrumenten, grote apparaten die automatisch producten en geld afleveren, fotovoltaïsche panelen.
<b>5. Kleine apparatuur</b>	Stofzuigers, Tapijtvegers, Naaimachines, Verlichtingstoestellen, Magnetrons, Ventilatieapparatuur, Strijkijzers, Broodroosters, Elektrische messen, Waterkokers, Klokken en Horloges, Elektrische scheerapparaten, Weegschalen, Apparaten voor haar- en lichaamsverzorging, Rekenmachines, Radiotoestellen, Videocamera's, Videorecorders, Hifi-apparatuur, Muziekinstrumenten, Apparatuur voor het reproduceren van geluid of beeld, Elektrisch en elektronisch speelgoed, Sportuitrusting, Computers voor fietsen, duiken, hardlopen, roeien, enz., Rookmelders, Verwarmingsregelaars, Thermostaten, Kleine elektrische en elektronische hulpmiddelen, kleine medische apparaten, kleine bewakings- en controle-instrumenten, kleine apparaten die automatisch producten leveren, kleine apparatuur met geïntegreerde fotovoltaïsche panelen.
<b>6. Kleine IT- en telecommunicatieapparatuur (geen buitenafmeting groter dan 50 cm)</b>	Mobiele telefoons, GPS, zakrekenmachines, routers, personal computers, printers, telefoons.

## 7.3 Achtergrondinformatie over gebruikte databases

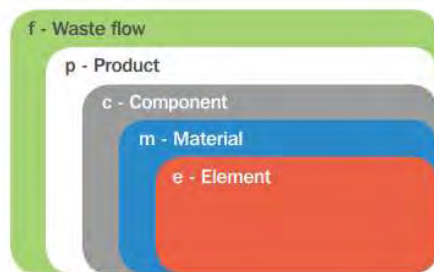
### 7.3.1 De ProSUM Urban Mine-database

De ProSUM Urban Mine database is onze primaire bron voor het schatten van de hoeveelheden CRMs en SRMs in Nederland. De Urban Mine-database omvat alle EEA, inclusief POM, voorraden, gegenereerd afval en hun samenstelling voor de periode 2000 – 2020. Deze bron werd aangevuld met domeinkennis, gerelateerde rapporten en wetenschappelijke literatuur. Er is een literatuurlijst beschikbaar.

De Urban Mine-database is ontwikkeld door het ProSUM- project en gefinancierd door het onderzoeks- en innovatieprogramma Horizon 2020 van de Europese Unie. Het liep van 2015 tot 2017. Het doel was om een database op te zetten met alle beschikbare gegevens en informatie over de opkomst, voorraden, stromen en behandeling van afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA), afgedankte voertuigen (ELV's), batterijen en mijnbouw. afval voor de EU28. Dit omvat schattingen van de elementaire, bijvoorbeeld CRM-samenstelling van deze categorieën. De database is publiekelijk te beoordelen via de website van het stedelijke mijnplatform, terwijl de gegevens zelf worden beheerd door het United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Voor een compleet overzicht van de dataset, de oorsprong, inhoud en analyse van de gegevens, zie (ProSUM eindrapport) of de stedelijke mijnplatform (zie stedelijk mijnplatform).

#### ProSUM Urban Mine-classificatie en verzamelmethodologie

De Urban Mine-database classificeert de POM, voorraden en gegenereerd afval volgens het volgende systeem (zie Figuur 24). Deze omvatten het niveau van de afvalstroom, bijvoorbeeld kleine IT- en telecommunicatieapparatuur; het productniveau, bijvoorbeeld mobiele telefoon; het componentniveau, bijvoorbeeld een scherm; het materiaalniveau, bijvoorbeeld staal of legeringen; en het elementaire niveau, bijvoorbeeld magnesium. CRMs en SRMs bij de elementar worden vervolgens ingebed in verschillende materialen, componenten en uiteindelijk binnen de bredere productcategorie.



Figuur 24: Een overzicht van de verschillende analytische niveaus van deze studie. Bron (Huisman et al., 2017)

De gegevens die ten grondslag liggen aan de Urban Mine bestaan uit een ongekende en uitgebreide samenvatting en harmonisatie van AEEA-gerelateerde gegevens, waarnaar wordt verwezen met originele gegevenspunten. De basisrecordgegevens bestaan uit 800 bronnen met betrekking tot de POM, het productgewicht, de levensduur van het product, de samenstelling en de voorraad en het afval dat voor EEA wordt gegenereerd. De rapportagevereisten die producenten op grond van de AEEA-richtlijn opgelegd krijgen, zorgen ervoor dat de geproduceerde POM, voorraden en afval en hun levensduur relatief goed zijn. De gegevenslacunes zijn echter groter voor de gewichten en samenstellingen van de geproduceerde producten en afval.

Om de leemten in de gegevens op het gebied van gewicht en samenstelling op te vangen en uiteindelijk de kwaliteit van de database te verbeteren, voerde het ProSUM- project AEEA-bemonstering, voorbereiding en chemische analyse uit via laboratoriumtests. Dit werd gedaan aan de hand van zes casestudy's over metaallegeringen, residuen van de behandeling van lithiumionbatterijen, residuen uit gesloten ijzerertsminen (niet van toepassing op deze studie), PCB's van desktop-pc's en lichte afvalfracties die voortkomen uit de mechanische behandeling van EEA.

De specifieke gegevensreferenties die in dit onderzoek worden gebruikt, zijn:

**Referentiejaar 2020** Omdat er geen gegevens zijn voor 2022 en 2023, nemen we 2020 als referentiejaar. Het is belangrijk op te merken dat voor 2020 alleen voorspelde gegevens worden gebruikt. Dit vertegenwoordigt een van de grootste beperkingen van dit rapport: de gegevens zijn gebaseerd op schattingen die ongeveer acht jaar geleden zijn gemaakt. Wij stellen echter dat de gegevens hier nog steeds bruikbaar en geschikt zijn voor het doel van dit onderzoek. Het is vermeldenswaard dat de schatting van de trend van 2016 tot 2020 werd gemaakt in 2015, vóór de invasie van Rusland in Oekraïne (met uitzondering van de Krim) en vóór Covid, wat ook een impact had op de internationale handel en het gedrag van klanten.

**Indicatorstromen uit geproduceerd afval** Daarnaast zijn wij van mening dat de schattingen (zoals gemaakt in 2015) over geproduceerd afval in 2020 het meest betrouwbaar zijn; vanwege de tijdspanne tussen het moment waarop een product wordt verkocht, gaat POM naar de voorraad en wordt het uiteindelijk afval. Voor verdere uitleg hierover zie (Forti et al., 2018)

**Tijdschema en beperkingen** De Urban Mine-database omvat alle EEA, inclusief POM, voorraad, geproduceerd afval en hun samenstelling voor de periode 2000 – 2020. Voor de jaren 2016-2020 worden echter alleen voorspelde gegevens gebruikt. Dit neemt dus 2020 als referentiejaar, maar erkent dat dit gebaseerd is op schattingen gemaakt in 2015. Dit vertegenwoordigt de grootste beperkingen van dit rapport, dat de gegevens gebaseerd zijn op schattingen die ongeveer acht jaar geleden zijn gemaakt. Bovendien is het referentiejaar 2020, en niet 2022 of 2023, waarvoor geen gegevens bestaan. Wij beweren echter dat de gegevens hier nog steeds bruikbaar en het meest geschikt zijn vanwege de kloof tussen het moment waarop een product POM op voorraad gaat en uiteindelijk afval wordt (Forti et al., 2018).

### 7.3.2 Onderzoek naar de CRMs voor de EU 2023/SCCREEN

De evaluatie door de EU van kritieke grondstoffen begon in 2008 als een fundamenteel aspect van het EU Raw Materials Initiative (RMI). Dit initiatief heeft tot doel de grondstoffenbronnen voor de industriële waardeketens en het maatschappelijk welzijn van de EU te diversifiëren. De eerste lijst werd in 2011 gepubliceerd en wordt sindsdien elke drie jaar bijgewerkt. De beoordeling uit 2023 levert specifiek input voor de Wet op kritieke grondstoffen en dient als basis voor de definitie van de lijst van CRMs voor de EU. Het omvat 87 gescreende individuele materialen, resulterend in 70 kandidaat-grondstoffen (67 individuele en 3 gegroepeerde materialen: tien individuele zware (HREE's) en vijf lichte (LREE's) zeldzame aardmetalen, en vijf platinagroepmetalen (PGM's)). Een deel van dit project (SCCREEN) draait om het actualiseren van de zogenaamde grondstoffenfactsheets, met informatie over markt, vraag en aanbod en gegevens over lange tijdreeksen (SCCREEN, 2023).

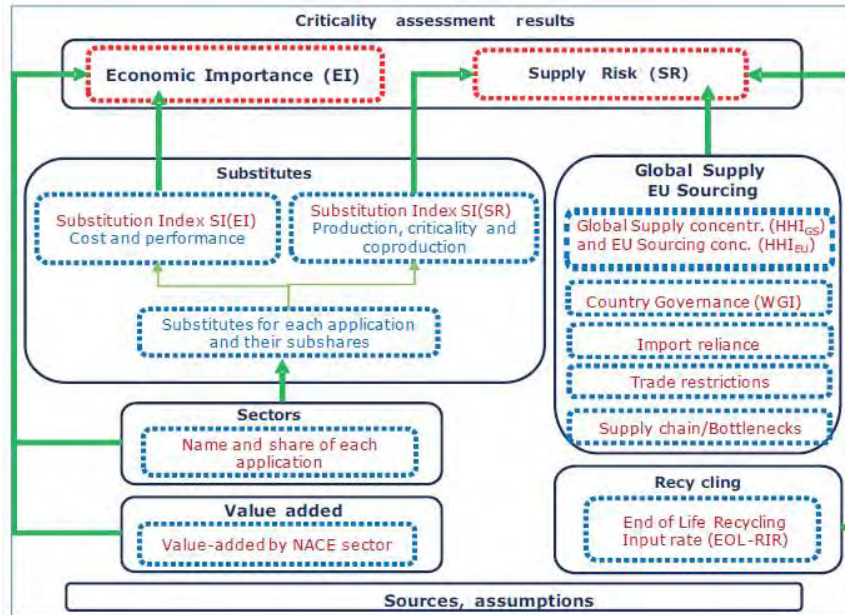
#### Methodologie van de EU-kriticiteitsbeoordelingen

De beoordelingsmethodologie is gebaseerd op de Criticality Methodology van de Europese Commissie, die twee hoofdcriteria omvat: economisch belang (EI) en aanbodrisico (SR). De algemene structuur van de methodologie wordt gegeven in Figuur 25.

Om de consistentie te behouden, sluit de beoordeling uit 2023 aan bij eerdere methodologieën uit 2011, 2014 en 2017. De criteriadrempels, met  $SR \geq 1,0$  en  $EI \geq 2,8$ , worden toegepast om de criticiteit van grondstoffen te beoordelen. Gegevensverzameling impliceert een alomvattende aanpak, waarbij gebruik wordt gemaakt van verschillende openbare bronnen zoals Eurostat-, WMD- en DERA-rapporten, waarbij prioriteit wordt gegeven aan officiële gegevens van de EU en de lidstaten. Bovendien is de raadpleging van belanghebbenden geïntegreerd om de gegevensvalidatie, transparantie en nauwkeurigheid te verbeteren. Deze belanghebbenden, waaronder industriële



en wetenschappelijke gemeenschappen, geven deskundige feedback en zorgen voor een robuust beoordelingsproces.



Figuur 25: overzicht van de EU-methodologie voor de beoordeling van de kriticitet

### Tijdschema en beperkingen

De referentieperiode voor data-analyse bestrijkt een gemiddelde van vijf jaar (2016-2020), wat longitudinale analyse en trendidentificatie mogelijk maakt. Ondanks pogingen om vergelijkbaarheid met eerdere methodologieën te garanderen, blijven er echter problemen bestaan met betrekking tot de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van gegevens. De kwaliteit van handelsgegevens blijft een punt van zorg, dat wordt toegeschreven aan kwesties als vertrouwelijkheid, geaggregeerde handelscodes en inconsistenties tussen mondiale en EU-datasets. Hoewel openbare databases zoals Eurostat en WMD waardevolle inzichten bieden, blijven er beperkingen bestaan, vooral wat betreft de granulariteit en volledigheid van gegevens. Raadpleging van belanghebbenden speelt een cruciale rol bij het aanpakken van deze beperkingen en biedt aanvullende gegevensinvoer en validatiemechanismen. Niettemin blijven vertrouwelijkheidsovereenkomsten en de betrouwbaarheid van gegevens uitdagingen opleveren, wat de voortdurende behoefte aan verfijning en verbetering van de methoden voor het verzamelen en beoordelen van gegevens benadrukt.

## 7.4 Interviewgids

### Introductie, achtergrond en interviewdoelen (5 minuten)

#### Context

TNO onderzoekt namens EZK de mogelijkheid van de Nederlandse stedelijke mijn voor CRMs. Dit is een taak als reactie op de CRM-wet, die zich specifiek richt op het produceren van 15% van het jaarlijkse verbruik van de EU door middel van recycling.

Subdoel iii) *"De recyclingcapaciteit van de Unie, inclusief voor alle tussenliggende recyclingstappen, is in staat om ten minste 15% van het jaarlijkse verbruik van strategische grondstoffen van de Unie te produceren"*.

Concreet onderzoeken we de mogelijkheid van meer CRM-terugwinning uit e-waste, en de mogelijke positie die Nederland kan hebben als CRM-leverancier voor de EU-vraag. Hiervoor werken wij nauw samen met Stichting OPEN.

Tot nu toe hebben we de theoretische mogelijkheid onderzocht -> wat er in theorie in de stedelijke mijn zit (online databronnen combineren met domeinkennis).

Nu willen we verder onderzoeken wat in de praktijk mogelijk is door te bespreken wat, gegeven de huidige en bijna gereedstaande technologie en economische omstandigheden, praktisch kan en zou moeten worden teruggewonnen.

#### Doel van het sollicitatiegesprek

Dit interview heeft twee doelen:

1. Begrijp eerst uw positie in de toeleverings-/waardeketen, uw proces en hoe u elektronisch afval behandelt;
2. Ten tweede: begrijp, vanuit jouw perspectief, welke fracties/e-waste-stromen potentieel hebben voor CRM-herstel en wat de huidige barrières zijn die dit belemmeren. Dit is gebaseerd op jouw domeinkennis en wat wij vanuit theorie onder e-waste verstaan.

#### Praktische afspraken

Praat alstublieft vanuit uw persoonlijke ervaring.

Wij sturen u achteraf de notulen van dit gesprek toe met het verzoek om te controleren of wij uw antwoorden juist hebben genoteerd.

De resultaten van dit interview zullen worden gebruikt voor een rapport voor de Nederlandse overheid over hoe het potentieel van de Nederlandse Urban-mijn kan worden vergroot. Dit rapport zal privé/vertrouwelijk/openbaar/semi-openbaar zijn (dit moet nog worden besloten).

Een kopie van de presentatie van het rapport kan op een later tijdstip (mogelijk mei 2024) met u worden gedeeld.

#### Introductie geïnterviewde en organisatie

Naam/ rol :	
Organisatie :	
Businessmodel / recyclingactiviteiten (deskresearch)	
Datum:	



**Recyclingactiviteiten**

1. Welke afvalstromen ontvangt u van Stichting OPEN en welke hoeveelheid (per jaar)?
2. Welke CRMs, indien aanwezig, wint u momenteel terug(of weet u dat deze worden teruggewonnen uit deze stromen, bijvoorbeeld smelten)?
3. In welke categorieën (UNITAR-sleutels/producten/componenten) zijn ze aanwezig? En wat zijn de teruggevonden hoeveelheden?

*(Toon tabel met het CRM/ton product ( ProSum- gegevens genormaliseerd)) →“We zien dat deze hoeveelheden theoretisch aanwezig zijn”.*

**Potentieel van de stedelijke mijn**

*Introduceer het – voor het opgegeven interview – overzicht van de 'potentiële' CRMs binnen de afvalstroom waar het bedrijf mee te maken heeft, bijvoorbeeld lampen, koelkasten etc. Zie daarnaast ook de bijlage van dit document.*

1. We zien dat deze lijst met CRMs mogelijk ook in uw afvalstroom aanwezig is (zie hieronder). Bent u het eens? Mis je er een?
2. Van de CRMs (theoretisch) hier, waar en in welke categorieën (UNITAR-sleutels/producten) bevinden ze zich?
3. Op basis van deze tabel met de hoeveelheid CMR's in deze afvalstroom (toon tabel), welke elementen hebben potentieel voor nuttige toepassing?
4. Bent u van plan deze CRMs in de toekomst terug te winnen? Zo ja, welke mogelijkheden ziet u hiervoor?
5. Wat zijn de barrières (economisch, regelgevend, technologisch) die de terugwinning van deze materialen verhinderen?

CRM	Theoretische hoeveelheid aanwezig	Hoeveelheid CRM in categorie versus totaal in AEEA	Momenteel teruggevonden hoeveelheden	In welke UNITAR-sleutels?	Denkt u aan terugwinning in de toekomst? Waarom niet)?	Opmerkingen
					j/n/?	

### 7.5 Behoeften Nederlandse industrie 2015 vs. ProSum-gegevens

Deze figuur geeft de analyse weer waarbij de hoeveelheden CRM/SRM die in 2015 in de Nederlandse AEEA aanwezig waren, werden vergeleken met de vraag van de Nederlandse industrie in 2015.

Laag (0->,5%)	Gemiddeld (0,5->3%)	Hoog (3-hoog)
Pt – 0,4%	Tb – 2,7%	Za – 38,3%
Rh – 0,4%	Wat – 1,9%	Zon – 30,2%
Sm – 0,3%	Mn – 1,2%	Dy – 17,7%
Nb – 0,2%	Pr – 1,1%	Pd – 17,5%
Ge – 0,2%	La – 0,8%	Sr – 13,4%
Ru – 0,1%	SC – 0,5%	W – 10,9%
Ce – 0,1%		Mg- 10,2%
V – 0%		Ta – 7,9%
Li – 0%		J- 5,6%
B – 0%		Wees- 5,1%
Gd – 0%		Ga – 4,8%
Jb- 0%		Ni – 4,5%
C – 0%		Cu – 3,9%
O – 0%		EU – 3,8%
Ir – 0%		
Si – 0%		
Ti – 0%		
Bi--%		
Ho--%		
Er--%		
Tm--%		
PM--%		
Lu--%		

## 7.6 Discussie: welke andere indicatoren zijn relevant?

De elementen en materialen die voor dit onderzoek zijn geselecteerd, zijn gebaseerd op de kritikaliteitsanalyse van de EU (CRM-wet). Om te begrijpen op welke elementen en materialen we ons moeten concentreren, hebben we gebruik gemaakt van informatie over hun hoeveelheden in Nederlandse AEEA, recyclingmogelijkheden, de EU-vraag naar deze materialen en enkele andere factoren. Aanvullende criteria kunnen echter helpen om te begrijpen op welke materialen de Nederlandse overheid zich moet richten als uitgangspunt bij de uitvoering van beleid op het gebied van hergebruik van grondstoffen. Hieronder geven we een concepttabel met voorbeelden van andere relevante criteria die in workshops met stakeholders of vervolgonderzoek verder kunnen worden ingevuld. Ook geven we een eerste suggestie hoe je deze criteria (kwalitatief) kunt beoordelen. Ten tweede introduceren we de belangrijkste bevindingen van een van deze criteria, namelijk de **prijs van verschillende CRMs**.

Tabel 11: concepttabel met criteria voor CRM-terugwinning

	CRITERIA	ELEMENTEN OM TE BEOORDELEN
<b>Productspecifiek</b>	(Absoluut) aantal CRMs in productgroep- en productgroeptotalen	- Theoretisch rendement (dwz kg afval gegenereerd CRM in productgroep: L/M/H)
	Relatieve hoeveelheid CRM in productgroep (hoeveel van het totaal in AEEA/hoeveel van de totale vraag naar CRM).	- % van de totale vraag in AEEA (vs. andere): L/M/H in productgroep: L/M/H
	Spreiding (over hoeveel producten/productgroepen is een CRM-spreiding?)	- Aantal producten met CRM: L/M/H
	Concentratie van CRM in een product of component (% CRM van totaal product/componentgewicht)	- %CRM van totaal gewicht component/product: L/M/H
	Gemak van demontage van het product (dat wil zeggen, het onderdeel dat de CRM bevat)	-gemakkelijk te demonteren: L/M/H
	Vervanging van specifieke CRMs: wat is mogelijk en wat is de (milieu- en bedrijfs)impact?	- Vervangingsindex: L/M/H - 'Score' submaterialen : L/M/H
	Complexiteit, dwz hoe wordt het CRM in een product verwerkt (met hoeveel andere materialen/CRMs)?	- Complexiteit: L/M/H
	...	...
<b>CRM-specifiek</b>	Toekomstige vraag versus toekomstig aanbod: kloof? (kwantitatief en kwalitatief)	- kloof: L/M/H
	Recycling: wat is mogelijk en wat is de (milieu- en bedrijfs)impact?	- recyclingpercentage: L/M/H - vooruitzichten: L/M/H (mogelijk zowel voor prijs als voor milieu-impact)
	Waarde/prijs	- prijs: L/M/H
	Kritiekheidsscore: aanbodrisico versus economisch risico	- Leveringsrisico: L/M/H - Economisch risico: L/M/H
	Sociale en ecologische impact van inkoop en verwerking	- Inkoop van sociale impact: L/M/H - Verwerking van sociale impact: L/M/H - Inkoop van milieu-impact: L/M/J- Verwerking van milieu-impact: L/M/H
	...	...



### 7.6.1 Voorbeeld: wat is de prijs van de verschillende CRMs in AEEA?

Het onderzoeken welke elementen de moeite waard zijn om uit AEEA terug te winnen, wordt uiteraard ook beïnvloed door de waarde van deze elementen. Daarom kijken we hier naar de prijzen van CRMs in AEEA.

**Prijzen:** Het vinden van de exacte prijzen per kilogram van elk van deze materialen is moeilijk vanwege de politieke gevoeligheid van deze gegevens. Een combinatie van websites en handelsbronnen (zoals Statista, Institute Seltene Erden, Strategic Metals Invest, etc.), vergeleken met handelsgegevens van de Observatory of European Complexity en EU Material Factsheets van SCRREEN, werden gebruikt om een prijschatting te maken. Tabel 12 presenteert de 5 duurste kritische grondstoffen met een prijs in dollars per kilogram.

Tabel 12: *geschatte prijzen per kilogram voor kritische grondstoffen.*

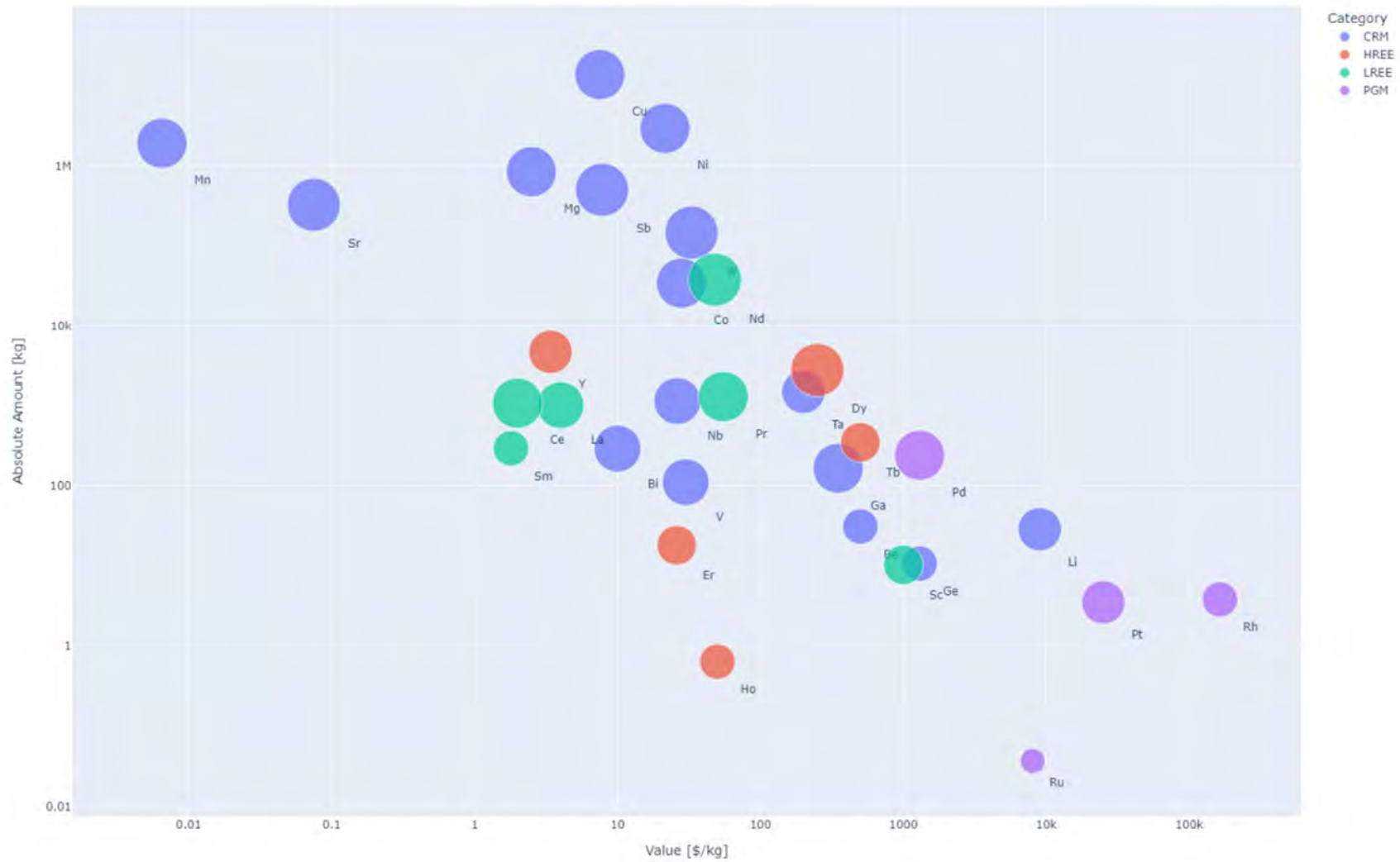
Element	Naamelement	Prijs [\$/kg]
Rh	Rhodium	\$ 163 969
Pd	Palladium	\$ 77 160
Pt	Platina	\$ 25 078
Li	Lithium	\$ 9.000
Ru	Ruthemium	\$ 8 038

### 7.6.2 CRMs vergelijken aan de hand van verschillende criteria – voorbeeld

Het rangschikken van CRMs op basis van verschillende criteria/dimensies (bijvoorbeeld in een bellendiagram) maakt een completere vergelijking van verschillende CRMs mogelijk. Hieronder geven we twee voorbeelden van dergelijke vergelijkingen. Deze dienen als eerste illustratie van hoe een analyse van CRMs op basis van verschillende criteria (zoals die uit de concepttabel) eruit zou kunnen zien.

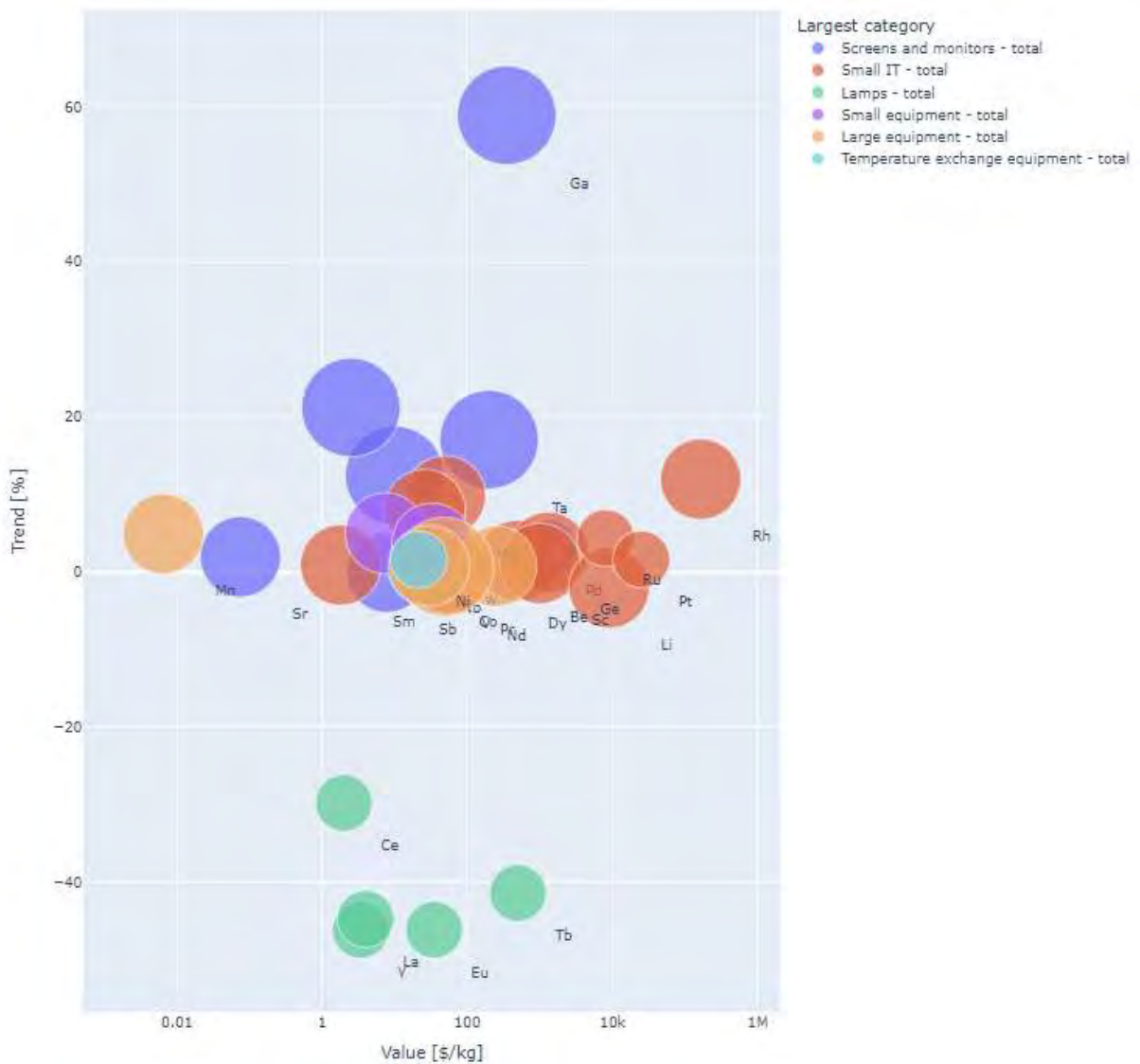
Figuur 26 toont een combinatie van prijs (dollars/kg), absoluut bedrag (kg) en de spreiding voor verschillende CRMs. In de figuur is op de y-as de hoeveelheid in kg weergegeven die in Nederland aan AEEA aanwezig is, met op de x-as de prijs per kg. De grootte van de stippen geeft de spreiding van het materiaal over de verschillende AEEA-categorieën aan. Grotere plots geven bijvoorbeeld aan dat een element voornamelijk geconcentreerd is in één productcategorie, zoals antimoon (Sb) in 'schermen en monitoren'. Omgekeerd geven kleine plots aan dat een element over meer productcategorieën is verspreid. Zoals ook door de literatuur wordt ondersteund, omvat de Platinum Group Metals (PGM) de duurste materialen per kilogram. Materialen met een hogere prijs per kg en een lagere absolute hoeveelheid AEEA vertonen minder spreiding over de zes AEEA-categorieën, wat erop wijst dat ze in minder categorieën voorkomen dan wijdverspreide elementen zoals mangaan of nikkel.





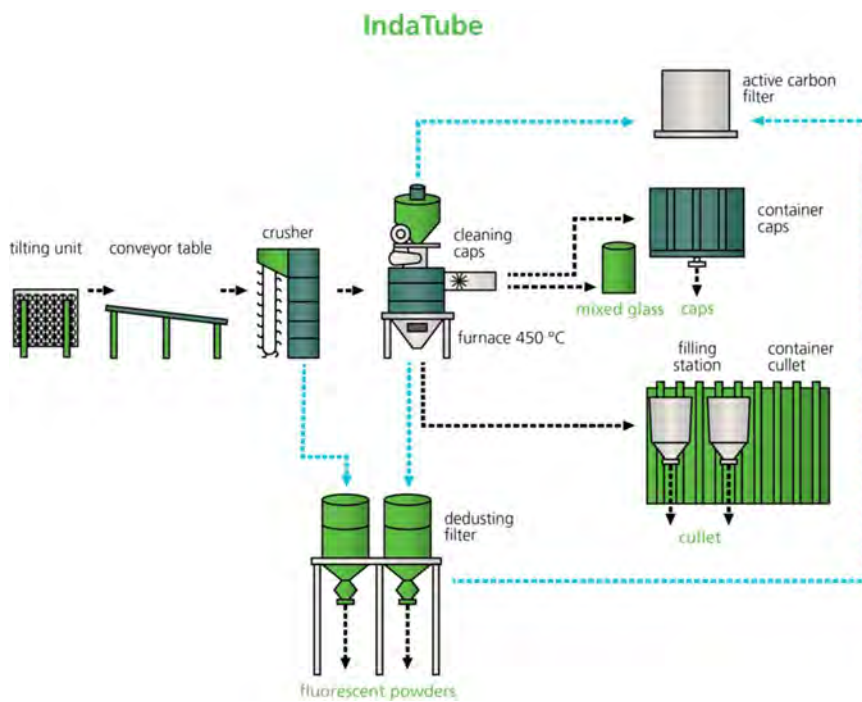
Figuur 26: Bubble plot, vergelijking van prijs, absoluut bedrag en spreiding voor de verschillende soorten CRM (bron: Prosum )

De onderstaande figuur geeft een andere vergelijking van indicatoren, waarbij CRM-trends van stijging, daling of stabiliteit in relatie tot prijzen worden benadrukt naast hun overheersende productcategorie. Als we deze analyse observeren, wordt het duidelijk dat binnen de categorie Lampen bijna alle elementen die voornamelijk verband houden met lampen getuige zijn geweest van een afname in de hoeveelheid die op de markt wordt gebracht, met uitzondering van Niobium, dat een relatief stabiele hoeveelheid heeft behouden. Het is belangrijk op te merken dat deze analyse zich specifiek richt op de daling van het aantal CRMs dat vanaf 2020 op de markt wordt gebracht binnen de EEA-sector en de overeenkomstige primaire categorieën.

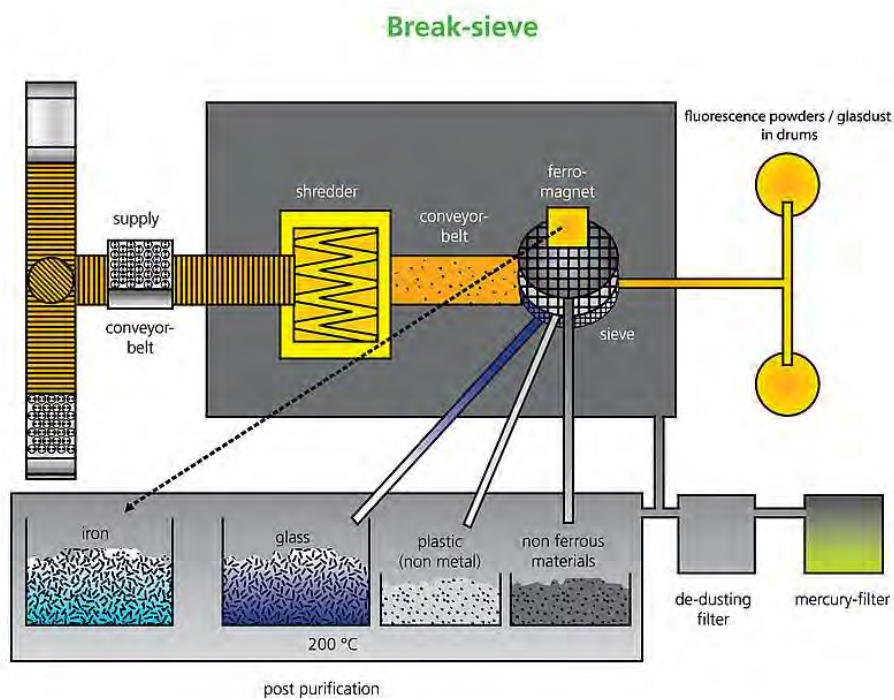


Figuur 27: Trendanalyse van 2016-2020: trend vergelijken met waarde per kg en de grootste categorie voor elke CRM (bron: Prosum )

### 7.7 Schematische weergave van de recyclingactiviteiten voor lampen



Figuur 28: Behandelingsproces voor fluorescentielampen. Gebruikt met toestemming van Indaver NV.



Figuur 29: Behandelingsproces voor alle overige lampen. Gebruikt met toestemming van Indaver NV

## 8 Referenties

- Aitasalo, T., Dereń, P., Hölsä, J., Jungner, H., Krupa, J.C., Lastusaari, M., Legendziewicz, J., Niittykoski, J., & Stręk, W. (2003). Aanhoudende luminescentieverschijnselen in materialen die zijn gedoteerd met zeldzame aardionen. *Journal of Solid State Chemistry*, 171 (1–2), 114–122. [https://doi.org/10.1016/S0022-4596\(02\)00194-9](https://doi.org/10.1016/S0022-4596(02)00194-9)
- Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., en Den Hollander, M. (2014). Producten die rondgaan: onderzoek naar verlenging van de levensduur van producten door middel van design. *Tijdschrift voor schonere productie*, 69, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.028>
- Bastin, F., Janssen, A., Lolivier, Y., Masalskas, M., van Rechem, A., & D'Ans, P. (2020). Verkenning van alternatieve routes voor het recyclen van kritische metalen uit afval-PCB's en tantaalcondensatoren. *Procedia CIRP*, 90, 437-442. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.112>
- BIO van Deloitte. (2015). Onderzoek naar gegevens voor een grondstoffensysteemanalyse: routekaart en test van de volledige operationele MSA voor grondstoffen. *EC MSA-studie*, 179. <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/msa>
- Bobba, S., Claudiu, P., Huygens, D., Alves Dias, P., Gawlik, B., Tzimas, E., Wittmer, D., Nuss, P., Grohol, M., Saveyn, H., Buraoui, F., Orveillon, G., Hámor, TS, Slavko, S., Mathieux, F., Gislev, M., Torres De Matos, C., Blengini, GA, Ardente, F., ... Garbarino, E (2018). Verslag over kritische grondstoffen en de circulaire economie. In *het Publicatiebureau van de EU*. <https://doi.org/10.2873/331561>
- Buchert, M. Manhart, A., Bleher, D., Pingel, D. (2012). *Recycling van kritische grondstoffen uit afgedankte elektronische apparatuur In opdracht van het Noordrijn-Westfalen Staatsagentschap voor Natuur, Milieu en Consumentenbescherming Auteurs: (Vol. 49).*
- CEWASTE. (2021). *Een bijdrage aan de toekomstige recycling van kritieke grondstoffen* (uitgave 820859).
- Choi, SH, Kreider, ME, Nielander, AC, Stevens, MB, Kamat, G., Koo, JE, Bae, KH, Kim, H., Yoon, IY, Yoon, BU, Hwang, K., Lee, DU, & Jaramillo, TF (2022). Oorsprong van door slijtage veroorzaakte wolframcorrosiedefecten bij de productie van halfgeleiders tijdens chemisch mechanisch polijsten van wolfram. *Toegepaste oppervlaktewetenschappen*, 598. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.153767>
- Cui, J., Ormerod, J., Parker, DS, Ott, R., Palasyuk, A., McCall, S., Paranthaman, MP, Kesler, MS, McGuire, MA, Nlebedim, C., Pan, C., & Lograsso, T. (2022). Productieprocessen voor permanente magneten: deel II – Bonding- en opkomende methoden. In *JOM* (deel 74, nummer 6, pp. 2492–2506). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11837-022-05188-1>
- RICHTLIJN 2012/19/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD van 4 juli 2012 betreffende afgedankte elektrische en elektronische apparatuur (AEEA) (herschikking) (Voor de EER relevante tekst), (2012).
- Europese Commissie. (2024). *Verordening 2024/1252 CRMA*. Maart, 1–67.
- Filella, M., Hennebert, P., Okkenhaug, G., & Turner, A. (2020). Voorkomen en lot van antimoon in kunststoffen. *Tijdschrift voor gevaarlijke materialen*, 390. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121764>
- Forti, V., Baldé, C., & Kuehr, R. (2018). *E-WASTE STATISTIEKEN RICHTSNOEREN VOOR CLASSIFICATIE, RAPPORTAGE EN INDICATOREN E-WASTE STATISTIEKEN RICHTSNOEREN VOOR CLASSIFICATIE, RAPPORTAGE EN INDICATOREN TWEDE EDITIE*. <http://ewastemonitor.info/>
- Huisman, J., Leroy, P., Tertre, F., Ljunggren Söderman, M., Chancerel, P., Cassard, D., Løvik, AN, Wäger, P., Kushnir, D., Susanne Rotter, V., Mähltz, P., Herreras, L., Emmerich, J., Hallberg, A., Habib, H., & Wagner, M. (2017). *EINDRAPPORT-ProSUM Projectprospectie van secundaire grondstoffen in de stedelijke mijn en mijnafval*. [www.prosumproject.eu](http://www.prosumproject.eu).
- Ichikawa, S., Hirokawa, Y., Kurisaki, T., en Nakamura, T. (2023). Karakterisering van een printplaat door röntgenfluorescentie en röntgendiffractieanalyses voor metaalterugwinning. *Spectrochimica Acta - Deel B Atomspectroscopie*, 210. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2023.106819>

- Karlicek, R., Zon, C.-C., Zissis, G., & Ma, R. (2017). *Handboek voor geavanceerde verlichtingstechnologie* .
- Méar, F., Yot, P., Cambon, M., en Ribes, M. (2006). De karakterisering van afvalkathodestraalbuiglas. *Afvalbeheer* , 26 (12), 1468–1476. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.11.017>
- Meskers, C., Worrell, E., en Reuter, MA (2023). *Handboek voor recycling* (C. Meskers, E. Worrell, & MA 2e ed.).
- Monteiro, Washington (2014). De invloed van legeringselementen op magnesium voor toepassingen in elektronische apparaten – een overzicht. In *toepassingen van lichte metaallegeringen* . InTech. <https://doi.org/10.5772/58460>
- Nationaal (W)EEE registerrapport 2020 . (2021). <https://www.nationaalweeeregister.nl/nederlands/verwerkers-en-exporteurs.html>
- OESO. (2016). Uitgebreide producentenverantwoordelijkheid: bijgewerkte richtlijnen voor efficiënt afvalbeheer. In *OESO Publishing Parijs* (Vol. 10, Nummer 1). <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true%7B%7Ddb=bth%7B%7DAN=930867%7B%7Dsite=ehost-live>
- Voorstel voor een VERORDENING VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD tot vaststelling van een kader voor het waarborgen van een veilige en duurzame aanvoer van kritieke grondstoffen en tot wijziging van de regelgeving . (nd). <https://doi.org/10.2760/386650>
- Koninklijke Vereniging voor Chemie. (2024). *Samarium - Elementinformatie* . <https://www.rsc.org/periodic-table/element/62/samarium>
- SCHERM. (2023). *SCRREEN CRM-database* . <https://screen.eu/crms-2023/>
- Shivani, Kaur, D., Ghosh, A., en Kumar, M. (2022). Een strategische evaluatie van op galliumoxide gebaseerde vermogenselektronica: recente vooruitgang en toekomstperspectieven. In *Materials Today Communications* (deel 33). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104244>
- Speciale metalen. (2024). *Herwin, recycleer en verkoop uw edelmetaalschroot* . <https://www.specialtymetals.com/>
- TNO. (2023). *Terugwinpotentieel cruciale kritieke grondstoffen op basis van sectorplannen in het LAP3* .
- Ueberschaar, M., Otto, SJ, & Rotter, VS (2017). Uitdagingen voor de kritische terugwinning van grondstoffen uit AEEA – De casestudy van gallium. *Afvalbeheer* , 60 , 534–545. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.035>
- UNITAR. (2024). *UNITAR Samenstellingsgegevens* .
- Verenigde Naties. Economische Commissie voor Europa. (2019). *Raamindeling van de Verenigde Naties voor hulpbronnen: update 2019* . 20.