



Vlaanderen
is omgeving

De rol van metalen en ‘kritieke grondstoffen’ in Vlaanderen - Analyse vanuit een omgevingsperspectief

Eindrapport

DEPARTEMENT
OMGEVING

omgevingvlaanderen.be

DE ROL VAN METALEN EN 'KRITIEKE GRONDSTOFFEN' IN VLAANDEREN - ANALYSE VANUIT EEN OMGEVINGSPERSPECTIEF

De studie geeft een geïntegreerd beeld van de stromen van metalen en 'kritieke grondstoffen' in Vlaanderen en van hun maatschappelijk belang in brede zin op dit moment en voor de komende decennia. De synthese en toekomstverkenning van de studie geven input en onderbouwing aan het Vlaams beleid rond duurzame grondstoffenvoorziening.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Ivo Palmers
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 20 bus 8, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs

Maarten Christis, VITO, Unit Materialen
Liesbet Van den Abeele, VITO, Unit Materialen
Jana Deckers, VITO, Unit Materialen

Depotnummer

D/2024/3241/034

ISBN-nummer

-

Wijze van citeren

Christis M., Van den Abeele L., Deckers J. (2024). De rol van metalen en 'kritieke grondstoffen' in Vlaanderen - Analyse vanuit een omgevingsperspectief, uitgevoerd door VITO in opdracht van het Departement Omgeving.

Foto voorpagina

Shutterstock

PARTNERS



Aanleiding en doel van de studie

Deze studie is een eerste stap in het bekomen van een geïntegreerd beeld van de stromen van metalen en kritieke grondstoffen in Vlaanderen en van hun maatschappelijk belang in brede zin, op dit moment en voor de komende decennia en omvat een verkenningsoefening naar mogelijke acties en prioriteiten op Vlaams niveau.

De transities steunen op een veilige en duurzame toegang tot deze grondstoffen. De vraag naar kritieke grondstoffen zal naar verwachting de komende jaren drastisch zal toenemen en Vlaanderen en Europa zijn hiervoor sterk afhankelijk van invoer, vaak van leveranciers in derde landen die vrijwel een monopolie hebben. Om de Vlaamse en Europese economische veerkracht te vergroten dienen de risico's in toeleveringsketens door dergelijke strategische afhankelijkheden beperkt te worden. De globale competitie naar deze kritieke grondstoffen zal sterk zijn, daar ook andere regio's zullen inzetten op deze technologieën. Deze competitie is er niet alleen tussen landen, maar ook tussen technologieën. De meeste kritieke grondstoffen vinden namelijk hun toepassingen in meerdere technologieën.

Als een gebundeld antwoord op deze uitdagingen werkt de Europese Commissie aan de zogenaamde **Critical Raw Material Act** (CRMA). De CRMA omvat een reeks maatregelen om de toegang tot en de aanvoer van kritieke grondstoffen te waarborgen. De maatregelen beogen betrouwbaarheid, diversificatie, betaalbaarheid en duurzaamheid. Men steunt op de sterke punten en mogelijkheden van de eengemaakte markt en externe partnerschappen van de EU om de toeleveringsketens van kritieke grondstoffen te diversifiëren en veerkrachtiger te maken en men beoogt het verbeteren van de capaciteit van de EU over de volledige waardeketen, de diversificatie van de invoer van grondstoffen naar de EU, de verbetering van monitoring en risicobeheersingscapaciteit en van de circulariteit en duurzaamheid. In de verordening worden

De aanpak in de communicatie COM(2023) 160 final is opgebouwd rond drie pijlers: (1) versterking van alle stappen in de waardeketen voor kritieke grondstoffen in de EU, (2) de diversificatie van leveringsbronnen stimuleren en op wederzijds voordelige wijze partnerschappen aangaan, en (3) het bevorderen van de duurzame leveringsketens en circulariteit. Elk van deze pijlers wordt ondersteund door een reeks van acties. De algemene doelstelling is om de toegang van de EU tot een veilige en duurzame bevoorrading met kritieke grondstoffen te waarborgen.

De Europese lijst van kritieke grondstoffen vormt de basis voor een voorstel tot een Belgische lijst van kritieke grondstoffen (Tabel 1.). Op basis van het economisch belang en het bevoorradingsrisico voor België vallen enkele grondstoffen weg uit de EU- lijst (uit Christis et al. 2024 waarin de beoordeling op Belgisch niveau is uitgevoerd). Toch merken we op dat omwille van de vrije circulatie van grondstoffen in de EU en de soms benodigde schaalgrootte van installaties, de Europese lijst ook voor Vlaanderen zeer relevant blijft. Daarom worden de elementen van de Europese lijst evenzeer toegevoegd (in het grijs).

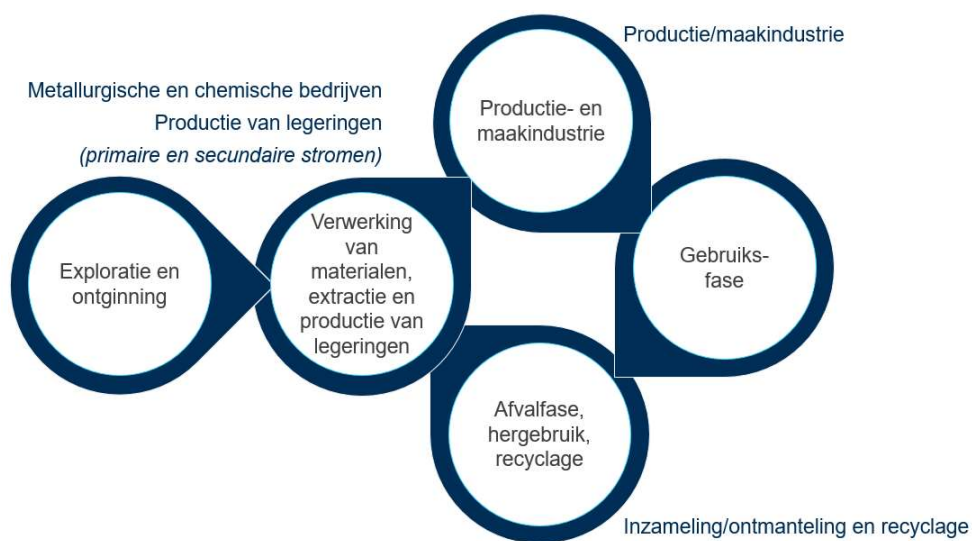
Kritieke grondstoffen in België (incl. SRM's)			
antimoon (I)	veldspaat (I)	LREEs (II) ¹	strontium (I)
arseen (II)	fluoriet (I)	magnesium (II)	wolfraam (II) ¹
bariet (I)	gallium (II) ¹	mangaan (I) ¹	tantaal (I)
aluminium/bauxiet (I) ¹	germanium (II) ¹	niobium (I)	titanium metaal (II) ¹
beryllium (I)	grafiet (I) ¹	PGMs (II) ¹	vanadium (I)
bismut (II) ¹	hafnium (II)	fosfaatgesteente (I)	koper (I) ¹
boor (I) ¹	helium (II)	fosfor (II)	nikkel voor batterijen (II) ¹
kobalt (I) ¹	HREEs (II) ¹	scandium (II)	
cokeskool (I)	lithium (II) ¹	silicium metaal (II) ¹	

Grondstoffen op de Europese lijst van kritieke grondstoffen, maar niet op de Belgische lijst.

pagina 4 van 134

Hoewel de lijst van kritieke en strategische grondstoffen prioritering kan ondersteunen, toch mag dit de aandacht niet afleiden van andere belangrijke grondstoffen die nodig zijn in de transitie. Bijvoorbeeld, zink, lood en chemische grondstoffen (o.a. nafta) staan niet in de lijst van kritieke grondstoffen.

Het **Vlaamse industriële landschap** heeft een uitgebreide historiek in de metallurgie en speelt ook vandaag een belangrijke industriële rol. Deze studie geeft een inzicht van de grondstofstromen in Vlaanderen, met een focus op kritieke metalen en grondstoffen. Hierbij volgend we een aanpak op basis van geïntegreerde waardeketens, omdat dit kort aansluit bij de werking van industrie. De geïntegreerde waardeketens (zie Figuur 1) gaan uit van een circulair concept, dat zowel input van primair als secundair materiaal kent. Het uitgangspunt is om te vertrekken van de basismetalen en vervolgens de kritieke grondstoffen die gelinkt zijn aan de basismetalen 'toe te voegen'. Zonder lokale productie van basismetalen, vermindert ook de directe toegang tot kritieke grondstoffen.



Figuur 1: Voorstelling van de verschillende onderdelen in een geïntegreerde waardeketen.

De Vlaamse en bij uitbreiding de Belgische industrie is onderling zeer sterk verweven binnen een (internationaal) netwerk van installaties verspreid over verschillende sites van veelal multinationals. In combinatie met de aanwezige afvalverwerkers maakt dat we beschikken over een uniek ecosysteem van bedrijven en kennis. De reden dat de recyclage keten hier zo sterkt ontwikkeld is, is te danken aan de aanwezigheid van de metallurgie. Anderzijds heeft de sterke recyclage industrie ook meegeholpen aan de verschuiving van primair naar secundair inputmateriaal.

Hoewel er in Vlaanderen (momenteel) geen ontginning van kritieke grondstoffen is, worden wel basisgrondstoffen (metalen en niet-metalen) geproduceerd. Daarnaast worden talrijke bijproducten verwerkt afkomstig van primaire smelters die concentraten verwerken. Centraal in de productie van metalen staat de productie van basismetalen, deze kunnen geproduceerd worden uit zowel ertsen (primaire stromen) als secundaire stromen. Bij de productie van basismetalen worden ook geassocieerde metalen geproduceerd. Tabel 2 geeft een schatting van de bijdragen van de Vlaamse industrie aan de Europese vraag naar kritieke grondstoffen.

De basismetalen (ijzer, aluminium, koper, zink, tin, lood en nikkel) aangevuld met enkele edele metalen (goud en platina) worden industrieel ontgonnen sinds het begin van de 20^{ste} eeuw. Deze basismetalen worden standaard gewonnen uit ertsen die relatief veel voorkomen op aarde en die een vrij hoge concentratie van het doelmetaal kunnen bevatten. Stelselmatig worden ook andere

¹ verwerking van aluminium (geen extractie)

In dit rapport worden aparte inzamelcircuits voor batterijen, elektrische apparaten en wagens waarvoor verschillende terugnameplichten bestaan besproken. Daarnaast worden enkele afvalstromen besproken die mogelijks kritieke grondstoffen bevatten zoals bodemassen van

huisvuilverbranding, rubber, P-houdende afvalwaters en (industriële) metaalhoudende bijproducten en afvalstromen, slibs en afvalwaters.

Toekomstverkenning

Het laatste deel van deze studie gaat in op oplossingsrichtingen voor Vlaanderen. Mogelijke acties of prioriteiten zijn het resultaat van een **verkenningsoefening** en bevatten input uit het literatuuronderzoek, de interacties met de opdrachtgever en de begeleidingsgroep en op basis van feedback van enkele bedrijven (Umicore, Nyrstar, Campine, Aperam, Aurubis en ArcelorMittal).

Het is aangewezen dat het strategisch beheer van de aanvoer (binnenlands, intra-EU invoer en extra-EU invoer) en inzet van kritieke grondstoffen een van de sleuteldomeinen zijn van beleid in Vlaanderen. Bijvoorbeeld, een door de betrokken stakeholders gedragen strategie biedt een leidraad voor verschillende beleidsdomeinen. Dit beheer anticipeert op toekomstige ontwikkelingen. Een systematische lange termijn aanpak, zowel via regelgevende als niet-regelgevende oplossingen, kan op een duurzame wijze bevoorradingsproblemen vermijden en de veerkracht doen verhogen. De grondstoffentransitie dient dezelfde aandacht te krijgen als de energietransitie en digitalisering. Het doel is om te komen tot een veerkrachtige en strategische autonomie, met een stabiele en duurzame toegang tot grondstoffen en producten voor het versterken van de Vlaamse en Europese waardeketens rond kritieke grondstoffen in een globale context zodat de dubbele groene en digitale transitie kan worden waargemaakt.

Strategieën voor het op een duurzame manier inperken van risico's ten gevolge van het verschil in vraag en aanbod worden gebundeld in vijf domeinen:

- Bewustmaking en objectieven
- Exploratie duurzame lokale mijnbouw
- Ondersteunen lokale productie, verwerking en recyclage
- Monitoring en onderzoek en ontwikkeling
- Diversifiëren en verduurzamen van de invoer

Bewustmaking en objectieven

De grondstoffentransitie kan een antwoord bieden op de uitdagingen die gepaard gaan met de groene en digitale transitie en de verankering en versterking van de Vlaamse en Europese defensie en ruimtevaart. Het is een transitie die zich in de kern afspeelt van een complexe en verweven industrie. Deze complexiteit komt voort uit een lange historie van de sector, de hoge mate van techniciteit en de complexe verwevenheid van materialen en processen, de brede diversiteit aan producten, producteigenschappen en toepassingen, de kapitaalintensieve investeringen en de diverse hoogtechnologische vaardigheden die door de energie-intensieve sector gevraagd worden. We bundelen enkele suggesties:

- De vermelde complexiteit zorgt er voor dat de voor- en nadelen van beleidsacties steeds vanuit een waardeketenperspectief dienen geanalyseerd te worden. Geïsoleerde beslissingen kunnen leiden tot lock-ins of suboptimale oplossingen.
- De basismetalen zijn essentieel voor de bevoorrading (zowel primair en secundair) van kritieke grondstoffen. Als Vlaams beleid lokale productie wil behouden en uitbreiden, dient het beleid zich te richten op de productie van basismetalen in stand te houden, omdat deze gepaard gaan met de productie, verwerking en recyclage van kritieke grondstoffen.
- De bewustwording van de maatschappelijke uitdaging en bij uitbreiding van alle positieve en negatieve impacten, de schaarste op de arbeidsmarkt en de publieke acceptatie zijn

enkele van de vele uitdagingen voor de industrie en het beleid binnen de grondstoffentransitie.

- Het is een transitie die kan plaatsvinden binnen en soms ten behoeve van andere maatschappelijke uitdagingen en Europese en lokale beleidsacties en -plannen. De sterkten en zwakten kunnen verder onderzocht worden en prioriteiten kunnen gesteld worden, waarbij een overkoepelende aanpak over de verschillende beleidsdomeinen heen wenselijk is.
- Het stroomlijnen van initiatieven en wetgeving is een aandachtspunt, zowel op Europees als op Vlaams niveau.
- De overheid kan een voorbeeldrol opnemen via het Green Public Procurement via het toevoegen van bepaalde duurzaamheidscriteria.
- Om te vermijden dat meer kapitaalkrachtige landen of regio's hun eigen industrie disproportioneel kunnen bevoordelen, geven we de voorkeur om Europese middelen toe te wijzen.
- Steunmaatregelen, zowel op Vlaams als Europees niveau, gaan veel verder dan subsidiëringen. Voorbeelden zijn douanetarieven, oorsprong-regels, normalisatie, maar ook het maken van wetten en regels die het voor bedrijven makkelijker maakt om te investeren in duurzame innovatieve technologieën.

Exploratie duurzame lokale mijnbouw

Er is tot nog toe geen ontginning van kritieke grondstoffen in Vlaanderen. De CRMA legt een exploratieprogramma op met algemene (regionale) exploratie van kritieke grondstoffen, die maatregelen omvat zoals het in kaart brengen van mineralen, geochemische campagnes, geowetenschappelijke onderzoeken en het opmaken van voorspellingskaarten. Er wordt vijfjaarlijks een update voorzien. Voor het Vlaams exploratieprogramma dienen de nodige budgetten voorzien te worden.

Indien winning in de toekomst zou plaatsvinden in Vlaanderen, is (zoals bij andere activiteiten) aandacht nodig voor thema's zoals klimaat, milieu, veiligheid, ethiek, gezondheid, ruimte, etc. Ook dient dezelfde aandacht gelden voor deze thema's bij de invoer van grondstoffen.

Ondersteunen lokale productie, verwerking en recyclage

- De studie toont het belang van Vlaamse bedrijven in deze markt. Echter biedt dit geen garanties naar de toekomst. Als we niet willen dat het Vlaams aandeel gaat 'eroderen', dan dient het beleid te blijven inzetten op het beschermen van bestaande capaciteit en het ondersteunen van nieuwe opportuniteiten. Ook dienen de verschillende stappen in de waardeketen binnen de EU haalbaar te blijven of te worden gemaakt.
- Kennisontwikkeling en -deling vormen ook vandaag nog een hinderpaal binnen het landschap, zowel tussen regio's/lidstaten, maar tussen industriële sectoren onderling en tussen de industrie en de overheid. Zo blijft het in lijn brengen van het aanbod en de vraag van (primaire en secundaire) grondstoffen en producten een uitdaging.
- Bij elk beleidsinitiatief dienen de circulaire waardeketens (in de EU) in zijn volledigheid bekeken worden om tot optimale besluitvorming te komen en suboptimale lock-ins te vermijden.
- Men zou zich voor uitvoer van kritieke grondstoffen naar buiten Europa (o.a. via afvalstromen) steeds dienen af te vragen of de mogelijkheden voor verwerking binnen Europa voldoende gekend zijn, vooraleer de toelating wordt gegeven tot uitvoer. Mogelijke hinderpalen voor verwerking binnen Vlaanderen en Europa zijn bijvoorbeeld (momenteel nog) kleinere volumes of onvoldoende kennis over de toepassingen van gerecycleerde

grondstoffen. De vernieuwde Waste Shipment Regulation draagt hierin voor een deel toe bij.

- Vlaanderen en Europa staan sterk in het selectief ophalen, sorteren en voorbewerken van afval. Het is dus logisch dat er globale concurrentie is voor de interessantste Europese secundaire grondstoffen/afvalstromen. Indien we willen dat de lokale recyclage gestimuleerd wordt, dient de Vlaamse en bij uitbreiding de Europese 'urban mine' beschermd te worden.
- De knelpunten voor inzameling, sorteren en verwerken van afval dienen blijvend te worden aangepakt. Dit houdt o.a. in dat op korte termijn de huidige capaciteit gevrijwaard wordt. Recyclage gaat hand in hand met het versterken van onderzoek en ontwikkeling naar nieuwe recyclageprocessen (voor bijvoorbeeld batterijen, zonnepanelen en windmolens), betere inzameling en sortering, beter productdesign, betere digitale opvolgen van stromen en beperken van uitvoer (buiten de EU) van afval, maar ook het opschalen van recyclagecapaciteit.
- Ook blijven concurrentieverschillen bestaan tussen Europese vestigingen en bedrijven elders in de wereld (energieprijzen, verschillen in wetgeving, arbeidskosten, subsidies, etc.).
- De actoren in de verschillende stappen van de waardeketen kunnen blijvend inzetten op onderzoek en ontwikkeling naar verbeterde materiaalefficiëntie en verminderde materiaalintensiteit en het verbeteren van circulariteit bij het invullen van consumptiebehoeften door bijvoorbeeld in te zetten op levensduurverlenging en andere circulaire strategieën.
- Het creëren van een level playing field en het vermijden van gold-plating wordt meermaals door bedrijven en sectorfederaties aangehaald.

Monitoring en onderzoek en ontwikkeling

Kwaliteitsvolle beleidsvorming gaat gepaard met een periodieke monitoring van de markt. Monitoring houdt bijvoorbeeld het in kaart brengen van bestaande technologieën en productiecapaciteit in. Een periodieke monitoring gaat gepaard met duidelijke doelstellingen over het gebruik, waarborgen voor confidentialiteit en IT-beveiliging en capaciteit. Monitoring moet uiteindelijk bijdragen aan kennisdeling. Een voorbeeld zijn (digitale) productpaspoorten die als doel hebben om producten duurzamer, beter recyclebaar en herbruikbaar te maken. Tegelijkertijd is het belangrijk om onderzoek en innovatie in de hele waardeketen te stimuleren. Een bijkomend actiepoint is het nagaan welke indicatoren over kritieke grondstoffen beleidsondersteunend kunnen zijn en hoe kritieke grondstoffen opgenomen zijn in de bestaande indicatorensets.

Diversifiëren en verduurzamen van de invoer

De Vlaamse departementen Kanselarij en Buitenlandse Zaken (DKBUZA) en Economie, Innovatie en Wetenschap (EWI) zijn zeer actief op het vlak van kritieke grondstoffen. Zo zijn de industrie, concurrentiekracht, innovatie en de interne markt, waaronder de CRMA, één van de actiepunten. Het verzekeren van een vrije eengemaakte Europese markt blijft hierbinnen een prioriteit.

MANAGEMENT SUMMARY

Background and purpose of the study

On 3 September 2020, the European Commission (EC) released an action plan on critical raw materials, together with the 2020 list of critical raw materials, among others. The importance of a secure and sustainable supply of raw materials is further emphasised in the EU Critical Raw Materials Act (CRMA), expected in spring 2024. In addition to an updated list of critical raw materials, the CRMA includes a list of strategic raw materials.

This study is a first step in obtaining an integrated picture of the flows of metals and critical raw materials in Flanders and of their societal importance in a broad sense, currently and for the coming decades, and includes an exploratory exercise on possible actions and priorities at the Flemish level.

Context

The twin green and digital transition, the *twin transition*, and the further anchoring and strengthening of defence and aerospace are accompanied by the emergence and further expansion of so-called strategic technologies. The growth of these technologies is accompanied by an increasing demand for raw materials, especially a growth in the demand for critical raw materials. For example, a renewable energy system is much more dependent on minerals and metals than an energy system based on fossil resources. Strategic raw materials are those that score highest in terms of strategic importance, estimated increase in demand and difficulty of increasing production. The list of critical raw materials includes all these strategic raw materials, as well as other raw materials that meet or exceed the thresholds of economic importance and supply risk.

The transitions rely on secure and sustainable access to all these critical raw materials. Although the demand for critical raw materials is expected to increase drastically in the coming years, Flanders and Europe are heavily dependent on imports for these, often from third-country suppliers with a near-monopoly. To increase Flemish and European economic resilience, the risks in supply chains of critical raw materials should be mitigated. Global competition for the critical raw materials will be strong, as other regions will also invest in these technologies. This competition is not only between countries, but also between technologies. Indeed, most critical raw materials find their applications in multiple (strategic) technologies.

As a bundled reply to this challenge, the EC is working on the so-called **Critical Raw Material Act** (CRMA). The CRMA includes a series of measures to ensure access to and supply of critical raw materials. The measures aim at reliability, diversification, affordability, and sustainability. It draws on the strengths and opportunities of the EU's single market and external partnerships to diversify and make the supply chains of critical raw materials more resilient and aims to improve the EU's capacity across the entire value chain, diversify raw material imports to the EU, improve monitoring and risk management capacity, and improve circularity and sustainability. The regulation (PE-CONS 78/23 INIT, 6 March 2024) establishes benchmarks² for internal capacity across the strategic raw

² - Union extraction capacity is capable of extracting the ores, minerals or concentrates needed to produce at least 10 % of the Union's annual consumption of strategic raw materials, to the extent possible in light of the Union's reserves

- Union processing capacity, including for all intermediate processing steps, is capable of producing at least 40 % of the Union's annual consumption of strategic raw materials

The approach outlined in the communication (COM(2023) 160 final) is built around three pillars: (1) strengthening all steps in the EU's critical raw materials value chain, (2) boosting diversification of supply sources and establishing mutually beneficial partnerships, and (3) promoting sustainable supply chains and circularity. Each of these pillars is supported by a series of actions. The overall objective is to ensure the EU's access to a secure and sustainable supply of critical raw materials.

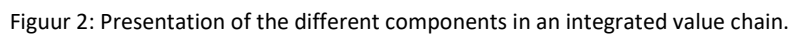
The European list of critical raw materials is the basis for a proposal for a Belgian list of critical raw materials (Table 3). In combination with the assessment results of the economic importance and supply risk for Belgium, some raw materials are dropped from the EU list (from Christis et al. 2024 in which the assessment was carried out at the Belgian level). Nevertheless, we note that because of the free circulation of raw materials in the EU and the required scale of plants, the European list remains highly relevant also for Flanders. Therefore, the elements of the European list are added to this proposal (in grey).

Critical raw materials in Flanders (incl. SRM's)			
antimony (I)	feldspar (I)	LREEs (II) ¹	strontium (I)
arsenic (II)	fluorspar (I)	magnesium (II)	tungsten (II) ¹
baryte (I)	gallium (II) ¹	manganese (I) ¹	tantalum (I)
aluminium/bauxite (I) ¹	germanium (II) ¹	niobium (I)	titanium metal (II) ¹
beryllium (I)	graphite (I) ¹	PGMs (II) ¹	vanadium (I)
bismuth (II) ¹	hafnium (II)	phosphate rock (I)	copper (I) ¹
borate (I) ¹	helium (II)	phosphorus (II)	nickel – battery grade (II) ¹
cobalt (I) ¹	HREEs (II) ¹	scandium (II)	
coking coal (I)	lithium (II) ¹	silicon metal (II) ¹	

Raw materials on the European list of critical raw materials, but not on the Belgian list.

The **Flemish industrial landscape** has a rich history in metallurgy and continues to play an important industrial role today. This study provides an insight of raw material flows in Flanders, with a focus on critical metals and raw materials. In doing so, we follow an approach based on integrated value

pagina 12 van 134



combination of two or more metals that changes the properties of the base metal and makes them more suitable for their final application. The number of possible alloys is very extensive. The production of alloys is not separate from the production of base and associated metals. In primary production, one often starts adding alloying elements (whether produced primarily or secondarily or not) to get the final alloy. Even in secondary production, one often needs to add alloying elements depending on the composition of the secondary raw materials (inputs) used.

Metals, alloys, minerals, and chemicals are used in various applications and industries. CRMA mainly focuses on 15 strategic technologies that are important for the digital and energy transition and for aerospace and defence. These 15 technologies are distributed across five strategic sectors: space and defence, information and communication technology (ICT), renewable energy, electromobility, and industry.

Because of the great diversity within the manufacturing industry, this study only focuses on the key technologies and top sectors for which manufacturing activities are present within Flanders. These are: li-ion batteries, fuel cells, electrolyser for hydrogen/hydrogen engines, traction engines, heat pumps, hydrogen direct reduction iron arc furnaces, data transmission cables, robots, satellites, spacecraft and defence, e-mobility, and ICT sector (including semi-conductors).

Table 4: Estimation of the share of Flemish production volumes relative to European consumption, combined with supply risk and economic importance per critical commodity.

		Estimated share of production in Flanders in total European demand*	Supply risk 2023-data	Economic importance 2023-data
gallium	<i>Ga</i>	substantial share	3,9	3,7
iridium, ruthenium, and osmium	<i>Ir, Ru, Os</i>	>100%*	3,9/3,8/-	6,4/5,5/-
cobalt	<i>Co</i>	>0%**	2,8	6,8
platinum group metals	<i>PGM</i>	substantial share	2,7	7,1
rhodium	<i>Rd</i>	>100%*	2,4	8,6
platinum	<i>Pt</i>	35%	2,13	6,9
bismuth	<i>Bi</i>	17%	1,9	5,7
arsenic	<i>As</i>	79%	1,9	2,9
lithium	<i>Li</i>	>0%	1,9	3,9
antimony	<i>Sb</i>	40-50%	1,8	5,4
germanium	<i>Ge</i>	substantial share	1,8	3,6
palladium	<i>Pd</i>	>100%*	1,5	8,1
aluminium ¹	<i>Al</i>	7%	1,2	5,8
tin	<i>Sn</i>	3%	0,9	4,5
zinc	<i>Zn</i>	14%	0,8	3,5
silver	<i>Ag</i>	12%	0,8	4,6
indium	<i>In</i>	50-80%	0,6	2,6
nickel	<i>Ni</i>	37%	0,5	5,7
gold	<i>Au</i>	>100%*	0,4	2,4
tellurium	<i>Te</i>	30%	0,3	3,8
silicon metal	<i>Silica sand</i>	0%	0,3	3,1

copper	<i>Cu</i>	12%	0,1	4
lead	<i>Pb</i>	9%	0,1	4,2

During the use phase, different applications are present. The lifetime of products varies widely: from short-term, one-off use to a lifetime of several decades. After this, the user will dispose of the product, and it will enter a waste phase. Further detailing of the use phase is beyond the scope of this study.

After using products, the materials enter the waste phase. Depending on the product and its use, they will still contain certain raw materials, possibly in high concentrations. For various reasons (including economic value, health and safety, environment, and climate), raw materials will be maximally recovered and minimally incinerated or landfilled. Because of the wide variety of products and types of users, different recycling chains have emerged.

This report discusses separate collection circuits for batteries, electrical appliances, and cars for which different take-back obligations exist. It also discusses some waste streams that may contain critical raw materials such as bottom ashes from domestic waste incineration, rubber, P-containing waste waters and (industrial) metallic by-products and waste streams, sludges, and waste waters.

Exploratory foresight

The last part of this study looks at possibly pathways for Flanders. Possible actions or priorities are the result of an exploratory exercise and include input from a literature review, interactions with the commissioner and sounding board and based on feedback from some companies (Umicore, Nyrstar, Campine, Aperam, Aurubis and ArcelorMittal).

It is desirable that the strategic management of supply (domestic, intra-EU imports and extra-EU imports) and the domestic supply of (secondary) critical raw materials is one of the key areas of policy in Flanders. For example, a strategy supported by multiple stakeholders provides guidance for different policy domains. This strategy anticipates future developments. A systematic long-term approach, both through regulatory and non-regulatory solutions, can avoid supply disruption in a sustainable way to further increase resilience. The resource transition should receive the same attention as the energy transition and digitalisation. The aim is to achieve a resilient and strategic autonomy, with stable and sustainable access to raw materials and products for strengthening the Flemish and European value chains around critical raw materials in a global context so that the dual green and digital transition can be fulfilled.

Strategies for sustainably mitigating risks due to the supply-demand gap are bundled in five domains:

- Awareness raising and objectives,
- Exploring sustainable local mining,
- Support local production, processing, and recycling,
- Monitoring and research and development, and
- Diversifying and making imports more sustainable.

Raising awareness and objectives

The raw materials transition can respond to the challenges associated with the green and digital transition and the strengthening of Flemish and European defence and space. It is a transition at the

heart of a complex and intertwined industry. This complexity stems from a long history of the sector, the high degree of technicality and complex intertwining of materials and processes, the wide diversity of products, product properties and applications, the capital-intensive investments and the diverse high-tech skills required by this energy-intensive sector. In this report, a number of suggestions are made:

- The complexity mentioned previously ensures that the pros and cons of policy actions should always be analysed from a value chain perspective. Isolated decisions can lead to lock-ins or suboptimal solutions.
- Base metals are essential for the supply (both primary and secondary) of critical raw materials. If Flemish policy wants to preserve and expand local production, it should focus on supporting base metals production, as they are associated with the production, processing and recycling of critical raw materials.
- Awareness of the societal challenges and by extension all the positive and negative impacts, labour market scarcity and public acceptance are some of the many challenges for industry and policy within this transition.
- It is a transition that can take place along with other societal challenges and European and local policy actions and plans. Strengths and weaknesses need to be further explored and priorities set, in which an overarching approach across multiple policy domains is desirable.
- Streamlining initiatives and legislation is a point of attention, both at European and Flemish level.
- The government can set an example through Green Public Procurement by adding sustainability criteria.
- To avoid that only countries with many own resources can disproportionately favour their own industry, it is preferred to allocate European resources.
- Supporting measures, both at Flemish and European level, go far beyond subsidies. Examples include customs tariffs, rules of origin, standardisation, but also implementing laws and regulations that make it easier for companies to invest in sustainable innovative technologies.

Exploration sustainable local mining

There is no mining of critical raw materials in Flanders so far. The CRMA imposes an exploration programme with (regional) exploration of critical raw materials, which includes measures such as mineral mapping, geochemical campaigns, geoscientific surveys, and preparation of forecast maps. Five-yearly updates are requested. The necessary budgets should be provided for the Flemish exploration programme.

If extraction were to take place in Flanders in the future, attention should be paid (as for other activities) to themes such as climate, environment, safety, ethics, health, use of space, etc. for each theme, the same attention should also apply to imported raw materials.

Support local production, processing and recycling

- The study shows the importance of Flemish companies within the European and global market. However, this offers no guarantees for the future. If we do not want the Flemish industrial share to 'erode', policy should continue to protect existing capacity and support new opportunities. Also, the different steps in the value chain within the EU should remain or be made more feasible.
- Knowledge development and sharing are still an obstacle within the landscape today, both between regions/member states, but also between industrial sectors and between industry

- Any policy initiative should consider the circular value chains (in the EU) in their entirety to achieve optimal decision-making and avoid suboptimal lock-ins.
- For exports of critical raw materials outside Europe (e.g. via waste streams), it should always be questioned whether the possibilities for processing within Europe are sufficiently known before export authorisation is given. Possible obstacles to processing within Flanders and Europe are, for example, (currently still) smaller volumes or insufficient knowledge about the applications of recycled raw materials. The renewed Waste Shipment Regulation is already contributing to this.
- Flanders and Europe are strong in the selective collection, sorting and (pre-)processing of waste. It is therefore logical that there is global competition for the most interesting European secondary raw materials/waste streams. If local recycling is to be stimulated, the Flemish and, by extension, the European 'urban mine' must be protected.
- The bottlenecks in waste collection, sorting and processing need to be addressed. This includes safeguarding current capacity in the short term. Recycling goes hand in hand with strengthening research and development into new recycling processes (e.g., for batteries, solar panels, and wind turbines), better collection and sorting, improved product design, better digital tracking of flows and limiting exports (extra-EU trade) of waste, but also scaling up recycling capacity.
- Competitive differences exist between European sites and companies elsewhere in the world (differences in energy prices, legislation, labour costs, subsidies, etc.).
- Actors in the different steps of the value chain can continue to invest in research and development towards improved material efficiency and reduced material intensity and improving circularity in meeting consumption needs by, for instance, focusing on life extension or other circular strategies.
- Creating a level playing field and avoiding gold-plating is cited several times by companies and sector federations.

Qualitative policymaking involves periodic monitoring of the market. Monitoring includes, for example, mapping existing technologies and production capacity. Periodic monitoring is accompanied by clear objectives on usage, safeguards for confidentiality and IT security and capacity. Monitoring should ultimately contribute to knowledge sharing. An example hereof are the (digital) product passports that contribute to make products more sustainable, recyclable and reusable. At the same time, it is important to stimulate research and innovation across the entire value chain. An additional action point is to further explore which indicators on critical raw materials can be policy-supportive and how critical raw materials are covered in existing indicator sets.

The Department of Foreign Affairs (DKBUZA) and Economy, Science, and Innovation (EWI) are very active in the field of critical raw materials. Thus, industry, competitiveness, innovation, and the single market, including the CRMA, are among the action points. Ensuring a free single European market remains a key priority.

INHOUDSTAFEL

1	Inleiding	23
2	Inventarisatie en evaluatie van grondstoffen	25
2.1	Critical Raw Materials: Europese context	25
2.2	De identificatie van kritieke grondstoffen voor België door middel van het schalen van de EU methodologie	37
2.3	kritieke grondstoffen voor Vlaanderen	40
3	Waardeketens rond kritieke grondstoffen in Vlaanderen	42
3.1	De waardeketen benadering	42
3.1.1	Waardeketen	42
3.1.2	Exploratie en winning	43
3.1.3	Verwerking en bewerking van de materialen en productie van legeringen	43
3.1.4	Maakindustrie	49
3.1.5	Gebruikersfase	50
3.1.6	Afvalfase, hergebruik, recyclage	50
3.1.7	Aanpak studie	52
3.2	Verwerking van de materialen	55
3.2.1	Productie van staal, roestvrijstaal en andere ijzerlegeringen	55
3.2.2	Productie van koper	58
3.2.3	Productie van aluminium	63
3.2.4	Productie van lood en gekoppeld antimoon, tin, bismut, indium, selenium en tellurium	67
3.2.5	Productie van zink en germanium	73
3.2.6	Productie van nikkel, kobalt en lithium	75
3.2.7	Productie van edele metalen: zilver, goud en platina-groep metalen	78
3.2.8	Bijzondere metalen: germanium, gallium, arseen	82
3.2.9	Productie fosfaat	84
3.2.10	Legeringen en de inzet van kritieke grondstoffen	85
3.2.11	Milieu-impacten van primaire en secundaire productie van kritieke metalen en materialen	85
3.3	Maakindustrie	92
3.3.1	Productie Li-ion batterijen	93
3.3.2	Productie elektrolyse toestellen en brandstofcellen	96
3.3.3	Productie windturbines	99
3.3.4	Productie Tractiemotoren	101
3.3.5	Productie zonnepanelen	102
3.3.6	Productie Warmtepompen	103
3.3.7	Gebruik van waterstof -direct reduction technologie en en electric arc furnaces voor staalproductie	104
3.3.8	Productie datatransmissiekabels en dataopslag en servers	105
3.3.9	Gebruik additieve manufacturing technologie – 3D printing	107
3.3.10	Productie Robots	108
3.3.11	Productie van toestellen voor defensie, luchtvaart en ruimtevaart	109
3.3.12	E-mobiliteit sector	110
3.4	Afvalfase, hergebruik, recyclage	111
3.4.1	Batterijen	111
3.4.2	Afgedankte elektrische en elektronische apparaten (AEEA)	112
3.4.3	Afgedankte voertuigen	112
3.4.4	Andere afvalstromen die belangrijk zijn in kader van de CRMA	113
4	Synthese en toekomstverkenning	116
5	Referenties	130

BEGRIPPENLIJST

Elementen (Nederlands – Engels – symbool)

Aluminium - Aluminium - Al
 Antimony - Antimony - Sb¹
 Argon - Argon - Ar
 Arseen - Arsenic - As
 Barium - Barium - Ba
 Beryllium - Beryllium - Be
 Bismuth - Bismuth - Bi
 Boron - Boron - B
 Broom - Bromine - Br
 Cadmium - Cadmium - Cd
 Cerium - Cerium - Ce¹
 Cesium - Cesium - Cs
 Chloor - Chlorine - Cl
 Chroom - Chromium - Cr²
 Cobalt - Cobalt - Co²
 Dysprosium - Dysprosium - Dy¹
 Dubnium - Dubnium - Db
 Europium - Europium - Eu¹
 Fluor - Fluorine - F
 Gadolinium - Gadolinium - Gd¹
 Gallium - Gallium - Ga
 Germanium - Germanium - Ge
 Goud - Gold - Au²
 Hafnium - Hafnium - Hf
 Helium - Helium - He
 Holmium - Holmium - Ho¹
 Waterstof - Hydrogen - H
 IJzer - Iron - Fe²
 Indium - Indium - In
 Iridium - Iridium - Ir²
 Jodium - Iodine - I
 Kalium - Potassium - K
 Koolstof - Carbon - C
 Koper - Copper - Cu²
 Krypton - Krypton - Kr
 Lanthanum - Lanthanum - La¹
 Lawrencium - Lawrencium - Lr
 Lood - Lead - Pb
 Lithium - Lithium - Li
 Lutetium - Lutetium - Lu¹
 Magnesium - Magnesium - Mg
 Mangaan - Manganese - Mn²
 Mercury - Mercury - Hg
 Molybdenum - Molybdenum - Mo²
 Neodymium - Neodymium - Nd¹
 Neon - Neon - Ne
 Niobium - Niobium - Nb
 Nikkel - Nickel - Ni²
 Niobium - Niobium - Nb
 Osmium - Osmium - Os²

¹Zeldzame aardmetalen – Rare Earths – REE
²Platinagroep metalen – Platinum Group Metals – PGM's

Economisch belang – Eén van de twee beoordelingsparameters (naast Bevoorradingrisico) van de methodologie van de Europese Commissie om de criticiteit van een grondstof te bepalen. In de methodologie van de Europese Commissie wordt het economisch belang berekend op basis van de

relevantie van een bepaald materiaal in de EU voor eindgebruikstoepassingen en op basis van de prestaties van beschikbare substituten in deze toepassingen.

Element – Een zuivere substantie die niet verder kan worden afgebroken in andere stoffen door chemische reacties. Het kan bijvoorbeeld verwijzen naar basiselementen zoals metalen (bijv. ijzer, koper) of niet-metalen (bijv. zuurstof, stikstof) die de fundamentele bouwstenen vormen van materialen en grondstoffen in de natuur.

End-of-life Recycling Input Rate – Sinds de analyse van 2017 verwijst de "end-of-life recycling input rate" (EOL-RIR) naar de verhouding van recycling van oud schroot in de EU ten op zicht van de totale aanvoer van materiaal in de EU.

Exploratie – Alle activiteiten om de kenmerken van minerale afzettingen in kaart te brengen en vast te stellen.

Extractiefase – Dit verwijst naar het proces van het verkrijgen (ontginnen) van grondstoffen uit onze omgeving en wordt ook wel het mijnbouw- of ontginningsstadium genoemd. De extractiefase omvat de productie van erts en concentraten.

Grondstof – verwerkte of onverwerkte materie die wordt gebruikt als input voor de vervaardiging van halffabricaten of eindproducten, met uitzondering van stoffen die voornamelijk als voedsel, diervoeder of brandstof worden gebruikt.

Grondstoffenwaardeketen – Alle activiteiten en processen die verband houden met de exploratie, winning, verwerking en recycling van grondstoffen.

Inzameling – Het verzamelen van afvalstoffen, inclusief de voorlopige sortering en de voorlopige opslag van afvalstoffen, om deze daarna te vervoeren naar een afvalverwerkingsinstallatie.

Kritieke grondstoffen – Kritieke grondstoffen (CRM's) zijn grondstoffen van groot belang voor de economie van de EU en waarvan de bevoorrading gepaard gaat met een hoog risico. De twee belangrijkste parameters, Economisch Belang (EB) en Bevoorradingsrisico (BR), worden gebruikt om de kriticiet van het materiaal voor de EU te bepalen. De lijst van CRM's wordt vastgesteld op basis van grondstoffen die de drempels voor beide parameters bereiken of overschrijden.

Permanente magneet – Een magneet die ook na verwijdering van een extern magnetisch veld magnetisch blijft.

Primaire grondstoffen – Primaire grondstoffen zijn virgin materialen, natuurlijke anorganische of organische stoffen zoals metalen ertsen, industriële mineralen, bouwmaterialen of energiebrandstoffen, die voor de eerste keer worden gebruikt.

Recycling – Elke nuttige toepassing waarmee afvalstoffen opnieuw worden verwerkt tot producten, materialen of stoffen, voor het oorspronkelijke doel of voor een ander doel.

Secundaire grondstoffen – Secundaire grondstoffen worden gedefinieerd als materialen die zijn geproduceerd uit andere bronnen dan primaire. Secundaire grondstoffen kunnen ook worden verkregen door het recyclen van ruwe (d.w.z. primaire) materialen. Voorbeelden hiervan zijn schroot van staal of aluminium.

Strategische grondstoffen – Grondstoffen die belangrijk zijn voor technologieën die de gezamenlijke groene en digitale transitie ondersteunen, evenals defensie- en luchtvaartdoelstellingen en waarvoor een sterke groei van de vraag en moeilijkheden om de productie te verhogen verwacht worden. De lijst wordt gedefinieerd door Artikel 3 en Bijlage 1 van de regelgeving PE 78/23 INIT (8 maart 2024).

Winning – De primaire winning/extractie van ertsen, mineralen en plantaardige producten uit oorspronkelijke bron, onder meer uit minerale afzettingen ondergronds, minerale afzettingen onder water, pekelen en bomen.

1 INLEIDING

De Europese Commissie (EC) bracht op 3 september 2020 een actieplan inzake kritieke grondstoffen uit, samen met onder andere de 2020-lijst van kritieke grondstoffen. Op 16 maart 2023 publiceerde de Europese Commissie een mededeling (COM(2023) 165 final) en een voorstel tot verordening (COM(2023) 160 final), de zogenaamde **Critical Raw Material Act** (CRMA). Beide beschrijven een voorstel voor een reeks maatregelen om de toegang tot en de aanvoer van kritieke grondstoffen te waarborgen. De maatregelen beogen betrouwbaarheid, diversificatie, betaalbaarheid en duurzaamheid. Naast een geüpdatete lijst van kritieke grondstoffen, bevat de CRMA een lijst met strategische grondstoffen. De Raad en het Europees Parlement bereikten op 13 november 2023 een voorlopig politiek akkoord over de kritieke grondstoffenwet. Op 12 december 2023 gaf het Parlement definitief groen licht voor de CRMA. Na goedkeuring door de Raad zal de CRMA gepubliceerd worden en dit voorjaar 2024 in werking treden.

Het is duidelijk dat het veiligstellen van voldoende aanvoer van kritieke grondstoffen van groot belang is voor de transitie naar een groene en digitale economie. Momenteel is Vlaanderen, net zoals de EU, voor een groot deel afhankelijk van kritieke grondstoffen uit een beperkt aantal bevoorradingsbronnen uit landen met een niet altijd even stabiele economische of politieke situatie. Hierbij komt dat op basis van de huidige projecties, de wereldwijde vraag naar een aantal metalen en kritieke grondstoffen zoals zeldzame aardmetalen en lithium binnenkort het wereldwijde aanbod zal overtreffen.

Verschillende problemen worden aangehaald die hebben geleid tot de huidige situatie: geringe diversificatie van bevoorradingsbronnen in de EU, onbenut potentieel van Europese delfstoffen, zwakke monitoring- en risicobeheercapaciteit, nadelige sociale en milieueffecten in derde landen ten gevolge van de Europese importafhankelijkheid, onvoldoende ondersteuning van circulariteit door bestaande regelgevende kaders, en een te beperkte onderzoeks- en innovatiegemeenschap rond kritieke grondstoffen. Zowel regelgevende als niet-regelgevende oplossingen worden door de EC naar voren geschoven zoals het definiëren van prioriteiten en objectieven, het verder verbeteren van monitoring, risicomanagement en beleid op het gebied van kritieke grondstoffen, het versterken van de Europese waardeketens rond kritieke grondstoffen in een globale context, en het verzekeren van een vrije eengemaakte Europese markt.

De behoefte aan kritieke grondstoffen voor strategische sectoren en opkomende technologieën is groot. Voor bijvoorbeeld de energietransitie (windmolens, zonnepanelen, batterijen, ...) zijn talrijke grondstoffen nodig, en dat stelt ons voor een aantal uitdagingen. Hoe sneller de transitie naar een koolstof-neutrale samenleving wordt uitgevoerd, des te groter de vraag naar kritieke grondstoffen, en metalen in het bijzonder, op een nog kortere termijn.

Er kan aangenomen worden dat de uitdagingen en mogelijke oplossingen die beschreven worden op niveau van de EU ook in min of meerdere mate van toepassing zijn op Vlaanderen. Hoewel reeds meerdere onderzoeken uitgevoerd werden op deelaspecten, ontbreekt op dit moment een overzicht voor Vlaanderen, met de specifieke noden, sterktes en zwaktes van Vlaanderen ten opzichte van de EU als geheel, waarop in de toekomst best ingezet wordt en hoe duurzaamheidsaspecten in rekening te brengen. Deze studie bouwt verder op deze Europese acties en onderzoekt welke rol Vlaanderen binnen dit Europees verhaal kan spelen.

2 INVENTARISATIE EN EVALUATIE VAN GRONDSTOFFEN

2.1 CRITICAL RAW MATERIALS: EUROPESE CONTEXT

Methodologie lijst kritieke grondstoffen

Critical raw materials (CRM, *artikel 4 & Annex II, Sectie 1 van de CRMA*), of kritieke grondstoffen, zijn strategische grondstoffen (strategic raw materials, SRM's) aangevuld met niet-strategische grondstoffen met een bevoorradingsrisico $\geq 1,0$ én een economisch belang $\geq 2,8$. Het toepassen van de methode voor bepalen van het bevoorradingsrisico en het economisch belang per grondstof (Study on the Critical Raw Materials for the EU) wordt sinds 2011 driejaarlijks uitgevoerd. In 2023 werd een vijfde lijst gepubliceerd.

Elk materiaal uit een lijst van 87 beoordeelde grondstoffen (Figuur 3) wordt individueel beoordeeld op twee dimensies: economisch belang en bevoorradingsrisico. Voor beide dimensies wordt data verzameld over een tijdsperiode van de 5 meest recente jaren. De methode maakt dus een beoordeling van de criticiteit op basis van historische data. Elk materiaal dat de drempelwaarden voor beide dimensies overschrijdt, wordt gezien als een kritieke grondstof.

- Het economisch belang (met drempelwaarde 2,8) houdt rekening met het huidige gebruik van het materiaal in combinatie met de toegevoegde waarde van de relevante sectoren. Een substitutie-index laat toe dit resultaat te corrigeren (hoe meer substituten, hoe lager het economisch belang).
- Het bevoorradingsrisico (met drempelwaarde 1) houdt rekening met de geografische diversiteit in het aanbod van de grondstoffen, gecorrigeerd met de geopolitieke stabiliteit en de kwaliteit van de handelsrelatie (beïnvloed door de aanwezigheid van taksen, quota of exportbeperkingen) van het land. Het resultaat wordt ook gecorrigeerd op basis van de 'end of life recycling input rate' (EoL-RIR). Deze waarde is de ratio van de input aan secundaire grondstoffen ten opzichte van de totale input aan grondstoffen. Hoe hoger het relatieve aanbod in secundaire grondstoffen, hoe lager het bevoorradingsrisico.

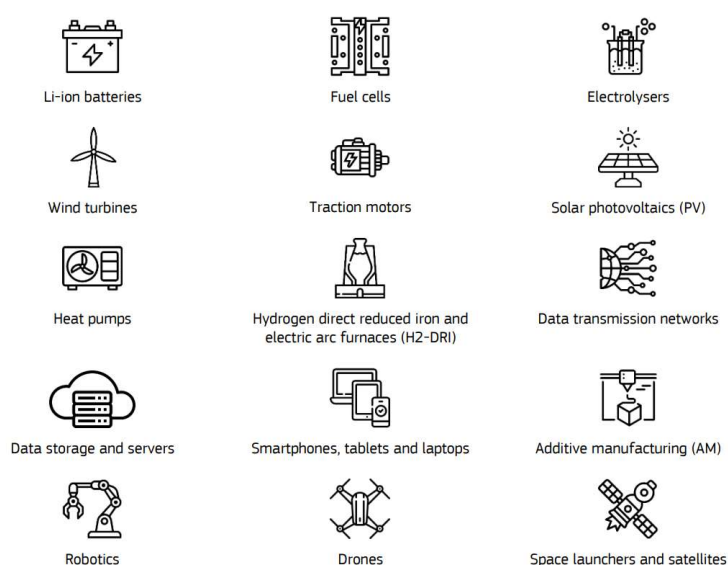
Screened raw materials in 2023 assessment (new materials in blue)	
Industrial and construction minerals	aggregates, baryte, bentonite, borates, diatomite, feldspar, fluorspar, gypsum, kaolin clay, limestone, magnesite, natural graphite, perlite, phosphate rock, phosphorus, potash, silica sand, sulphur, talc
Iron and ferro-alloy metals	chromium, cobalt, manganese, molybdenum, nickel, niobium, tantalum, titanium, <u>titanium metal</u> , tungsten, vanadium
Precious metals	gold, silver, and Platinum Group Metals (iridium, palladium, platinum, rhodium, ruthenium)
Rare earths	heavy rare earths - HREE (dysprosium, erbium, europium, gadolinium, holmium, lutetium, terbium, thulium, ytterbium, yttrium); light rare earths - LREE (cerium, lanthanum, neodymium, praseodymium and samarium); and scandium
Other non-ferrous metals	aluminium/bauxite, antimony, arsenic, beryllium, bismuth, cadmium, copper, gallium, germanium, gold, hafnium, indium, lead, lithium, magnesium, rhenium, selenium, silicon metal, silver, strontium, tellurium, tin, zinc, zirconium
Bio and other materials	natural cork, natural rubber, natural teak wood, sapele wood, coking coal, hydrogen, helium, <u>roundwood</u> , <u>neon</u> , <u>krypton</u> , <u>xenon</u>

Figuur 3: Lijst van beoordeelde grondstoffen in de 2023-studie (Bron: EC (2023). Study on the critical raw materials for the EU).

Methodologie lijst strategische grondstoffen

De methodologie voor het bepalen welke van de 87 kandidaat grondstoffen (Figuur 3) als **strategisch** [Strategic raw materials (*artikel 3 & Annex I, Sectie 1 van de CRMA*)] bestempeld moeten worden, is gebouwd rond 15 strategische technologieën (Figuur 4) en 5 sleutelsectoren (hernieuwbare energie, e-mobiliteit, industrie, ICT, en ruimtevaart en defensie).

In tegenstelling tot het historische perspectief bij kritieke grondstoffen wordt in deze methode met een blik vooruitgekeken naar twee transitie en twee sectoren: de transitie naar **hernieuwbare energie** en de **digitalisatie**. Samen vormen deze de zogenaamde **twin transition**. De twee sectoren zijn **defensie** en **ruimtevaart**.



Figuur 4: Lijst van 15 technologieën die door de EC bestempeld zijn als strategische opkomende technologieën (bron: JRC (2023) Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study).

Elk materiaal (Figuur 3) wordt individueel beoordeeld op drie dimensies: strategisch belang, voorspelde groei in de vraag en de moeilijkheid om de productie te verhogen.

- Strategisch belang:
 - o Hoe belangrijk is het materiaal voor de groene en digitale transitie, maar ook voor toepassingen binnen defensie en ruimtevaart? De beoordeling maakt een onderscheid tussen de 15 opkomende strategische technologieën en de 5 strategische sectoren. De beoordeling brengt zowel het aantal technologieën in rekening die (verwacht worden) gebruik (te) maken van het materiaal, als de som van het volume aan materiaal dat nodig is binnen de verschillende technologieën. Daarnaast wordt ook de verwachte wereldwijde vraag naar het materiaal (voor de relevante technologieën) meegenomen. Voor de analyse van de grondstoffen wordt het bevoorradingsrisico rechtstreeks afgeleid uit de kriticitetsstudie van de EU, voor de stappen in de toeleveringsketen vanaf verwerkte grondstoffen, wordt een vereenvoudigde SR-parameter (Supply Risk-parameter) berekend. Indien het bevoorradingsrisico lager is dan één, dan wordt dit beschouwd als een niet-kritieke conditie.
- Voorspelde groei in de vraag:

- Figuur 5 toont het resultaat van beide beoordelingen: een lijst met de strategische grondstoffen (donkerrood) en kritieke grondstoffen (lichtrood) in combinatie met een aanduiding in welke strategische en opkomende technologie elk van de grondstoffen gebruikt wordt of gebruikt zal worden.

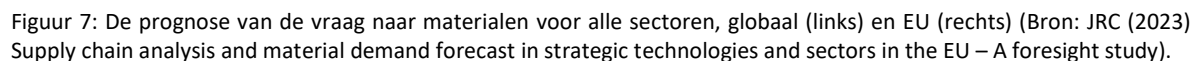
Figuur 5: Lijst van de strategische en kritieke grondstoffen in de EU-27 (Bron: JRC (2023), Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study).

Figuur 6 geeft overzicht van de verschillende stappen van de waardeketen voor de belangrijkste technologieën. De figuur toont per technologie een aantal productiestappen die onderhevig zijn aan een bevoorradingsrisico (in het rood) of eerder beperkt onderhevig zijn aan dit risico (in het grijs).

Source: JRC analysis (AWE = alkaline water electrolyzers, PEM = proton exchange membrane, SO = solid oxide, AEM = anion exchange membrane, LAU = space launchers, SAT = satellites; the bubble size is a proxy of the complexity of the supply chain step).

De analyse van de voorspelling van de vraag naar CRM focust op de periode tot 2030 en tot 2050 en is opgebouwd rond scenario's die de vraag naar grondstoffen en markttrends in rekening brengen, en dit per technologie. In een 'High Demand Scenario' (HDS) is het uitgangspunt dat de ambitieuze

Figuur 7 toont de resultaten met betrekking tot de groei in vraag voor enkele grondstoffen. De figuur toont naast de verticale as de huidige productie van grondstoffen (in het kader). De horizontale bars tonen de resultaten van de prognose in 2030 en 2050 en volgens het HDS en LDS scenario. De kleuren geven de prognose van de vraag weer per werelddeel. In de rechtse figuur is de scope beperkt tot Europa.



Het rapport haalt ook enkele strategieën aan voor het inperken van risico's ten gevolge van het verschil in vraag en aanbod:

- Diversifiëren van het aanbod (geografisch) en het versterken van handelsrelaties.
- Verbeteren van de Europese kennis en capaciteit doorheen de volledige productieketens, inclusief ontginning.
- Inzetten op recyclage en hergebruik, maar ook op circulariteit in het algemeen.
- Onderzoek en ontwikkeling naar substituten en alternatieven.

Well adapted to some technologies

- Based on availability of tech solutions (esp. for onshore wind; PV cells)

Challenging, long-term

- Both materials and designs
- R&D efforts (incl. through Horizon Europe) for innovative efficient technologies

Promising potential

- Important for raw materials and downstream categories (components and assemblies)
- Public acceptance
- Strategic investments

Challenging but feasible

- Targeted diversification
- Based on International Cooperation and Strategic Partnerships

Untapped potential

- Medium- / long-term
- Recycl. volumes to increase
- Recycling needs to start now

Fair and sustainable conditions

- Promoting responsible mining practices and ensuring level playing field
- Respect social/environmental standards
- Increased public acceptance

Technology selection

Diversification of supply

Recycling & Resource efficiency

EU domestic production & manufacturing

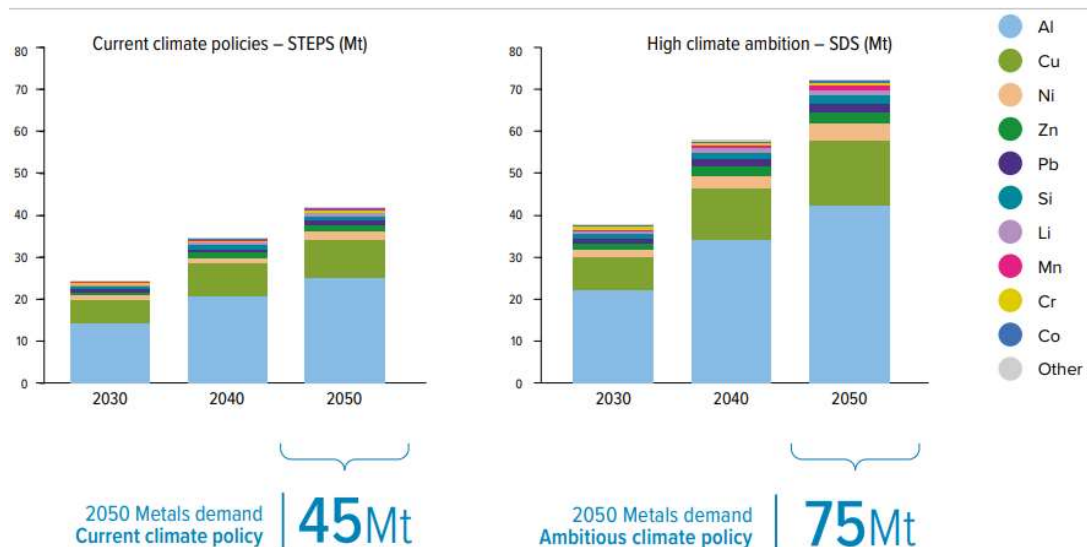
Substitution

Sustainable & responsible mining

Parallel wordt steeds verwezen naar de inzet op de ontwikkeling van kennis en vaardigheden bij werknemers. Dit houdt o.a. in dat onderzoek en ontwikkeling gepaard gaat met een breder aanbod in het onderwijs rond de thema's: materiaalwetenschappen, geowetenschappen en metallurgie. Bescherming van intellectual property (IP) wordt eveneens in deze context aangehaald.

Andere relevante studies en projecten

pagina 30 van 134



*Mt = million tonnes, annual (including lithium expressed as metal equivalent)

% metal required in 2050 for clean energy technologies vs. 2020 overall use (Global SDS ambitious climate scenario).** †

Lithium	2,109%	Silicon	62%
Dysprosium	433%	Terbium	62%
Cobalt	403%	Copper	51%
Tellurium	277%	Aluminium	43%
Scandium	204%	Tin	28%
Nickel	168%	Germanium	24%
Praseodymium	110%	Molybdenum	22%
Gallium	77%	Lead	22%
Neodymium	66%	Indium	17%
Platinum	64%	Zinc	14%
Iridium	63%	Silver	10%

SDS (Sustainable Development Scenario)

The demonstration of a plausible path to concurrently achieve universal energy access (affordable, reliable, sustainable, modern), set a path towards meeting the objectives of the Paris Agreement on climate change and significantly reduce air pollution.

STEPS (Stated Policies Scenario)

A benchmark to assess the potential achievements (and limitations) of recent developments in energy and climate policy. Based on a sector-by-sector assessment of the specific policies that are in place, as well as those that have been announced.

Source: International Energy Agency

** Commodities with a % lower than 10% not included in list.

† The uptake of redox flow batteries is not modelled in detail, but would have a very strong demand pull for vanadium. By 2030, an estimated 117kt of vanadium could be required for vanadium flow batteries, which is equivalent to 110% of today's annual consumption and would make vanadium a key metal in the energy transition.

Figuur 9: Wereldwijde vraag naar metalen per grondstof voor technologieën voor hernieuwbare energie in respectievelijk een STEPS- en SDS-scenario (bron: KU Leuven, 2022).

Naast de inschatting naar de volumes gaat het rapport ook in op de manier waarop deze vraag naar grondstoffen ingevuld kan worden. In de eerste jaren van de energietransitie zal Europa vooral beroep moeten doen op nieuwe aanvoer van primaire metalen uit mijnbouw en raffinage. Dit om de basislijn van 2040 te behalen. De behoefte kan ingevuld worden door middel van een combinatie van binnenlandse productiecapaciteit en invoer. Hierbij wordt het voordeel opgemerkt dat bij lokale activiteiten (waaronder ontginning) er meer aandacht aan duurzaamheid kan gegeven worden. Secundaire toevoer uit recyclage zal een prominentere rol gaan spelen naarmate de producten binnen de hernieuwbare energietechnologieën de eindelevensfase bereiken.

Na 2040 zou binnen Europa recyclage wel de belangrijkste bron kunnen zijn voor de meeste metalen nodig in de transitie naar hernieuwbare energie. Maar ook dan zal er een blijvende behoefte aan primair materiaal blijven. Dit houdt in dat er grote inspanningen geleverd moeten worden voor het uitbouwen van recyclagecapaciteit en het overwinnen van de knelpunten.

De transitie naar hernieuwbare energie van Europa zal gebaseerd zijn op metalen die voor onbepaalde tijd in een circulaire economie kunnen blijven. Circulariteit (incl. recyclage) is Europa's belangrijkste kans om zijn zelfvoorziening op lange termijn te verbeteren (recyclage kan zorgen voor 45-65% van Europa's behoefte aan basismetalen tegen 2050, tot 77% voor batterijmetalen en zelfs een overschot aan zeldzame aardelementen). Maar de komende 20 jaar zal een bijkomende input naar metalen centraal staan in de energietransitie daar de output van recyclage nog te beperkt zal zijn. Verwacht wordt dat pas in 2040 er een substantieel aanbod van secundair materiaal zal zijn, omdat dan een aantal producten uit deze transitie hun eindeleven bereiken. De studie concludeert dat tot die tijd Europa zal worden geconfronteerd met kwetsbaarheden in de bevoorrading.

Figuur 10: De EU kan de strategische afhankelijkheid verminderen op basis van vijf actiepijlers tussen nu en 2050 (bron: KU Leuven, 2022).

De belangrijkste aangehaalde trends zijn:

Het is momenteel nog niet duidelijk hoe de impact van de CRMA op projecten/bedrijven zal veranderen (en hoe snel) op het moment dat er nieuwe kritieke grondstoffen aan de lijst worden toegevoegd. Wel zijn er een aantal elementen die duidelijk gesteld worden indien een grondstof niet langer als strategisch beschouwd wordt.

2.2 DE IDENTIFICATIE VAN KRITIEKE GRONDSTOFFEN VOOR BELGIË DOOR MIDDEL VAN HET SCHALEN VAN DE EU METHODOLOGIE

De methodologie gepubliceerd door de Europese Commissie (EC) voor de identificatie van kritieke grondstoffen werd binnen het CAMBIUM-project (Christis et al. (2024)) aangepast voor de evaluatie van de kritieke grondstoffen op Belgisch niveau. Het schalen van de methode tot op nationaal niveau heeft als doel het **bevoorradersrisico** en het **economische belang** van een selectie grondstoffen in kaart te brengen voor België. Het economisch belang beschouwt het belang van een materiaal in de Belgische economie op basis van de toegevoegde waarde gecreëerd door de eindgebruik sectoren. Het bevoorradersrisico beoordeelt de afhankelijkheid van import, binnenlandse productie en de marktconcentratie (HHI¹¹) voor elke grondstof. Een hoge afhankelijkheid van een beperkt aantal landen of regio's verhoogt het bevoorradersrisico. Hierbij wordt rekening gehouden met de geopolitieke context zoals politieke stabiliteit en bestuur (WGI¹²), maar ook met handelsrelaties, internationale overeenkomsten en geopolitieke spanningen die van invloed kunnen zijn op de toeleveringsketen. Daarnaast wordt zowel voor het economisch belang als voor het bevoorradersrisico rekening gehouden met de mogelijkheid tot substitutie. Deze beschouwt namelijk de haalbaarheid en het potentieel voor het vervangen van kritieke grondstoffen. De substitutie index (SI) heeft een positief effect op zowel het economisch belang als het bevoorradersrisico. Terwijl de SI voor economisch belang o.a. rekening houdt met de kosten die verband houden met de vervanging van een materiaal in een bepaalde toepassing, beoordeelt de SI voor bevoorradersrisico de wereldwijde (co)productie en criticiteit van de beschikbare vervangers. Daarnaast wordt de end-of-life recycling input rate (EoL-RIR) meegenomen, deze beoordeelt de beschikbaarheid en efficiëntie van recyclingprocessen voor een specifieke grondstof aan het einde van de levensduur van een product. Ook wordt rekening gehouden met het potentieel om de recyclingpercentages te verhogen en daarmee de afhankelijkheid van primaire bronnen van grondstoffen te verminderen. De bekomen resultaten kunnen bijdragen aan het waarborgen van een competitieve waardeketen. Bovendien kunnen deze resultaten ondersteuning bieden inzake de stimulering van bestaande productiecapaciteit die direct of indirect gelinkt is aan kritieke grondstoffen en het ontwikkelen van nieuwe en gerichte mijnbouw-, productie- en recyclingactiviteiten. Deze lijst kan verder worden gebruikt om de noden en acties voor zowel de industrie als het beleid hieromtrent te prioriteren.

In overeenkomst met de EC-studie werden 87 grondstoffen geanalyseerd, waarvan 67 individuele grondstoffen (Figuur 3). De overige 20 werden gegroepeerd in heavy rare earths (10), light rare earths (5) en platinum-groep metalen (5). In Tabel 5 worden de grondstoffen die als kritiek worden beschouwd voor België weergegeven inclusief de strategische grondstoffen.. De bepaling van het strategisch belang is overgenomen vanuit Europese studies, omdat we veronderstellen dat het maatschappelijk belang gelijk is. Strategische, volgens de berekeningen niet-kritieke grondstoffen voor België zijn aluminium/bauxiet, gallium, germanium, HREE, koper, nikkel en titanium metaal. Voor elke grondstof wordt de bottleneck fase (extractie- of verwerkingsfase) gespecificeerd. Dit is de fase met het hoogste bevoorradingsrisico. Tabel 6 geeft de CRM's (incl. SRM's) voor de EU weer.

Op basis van de aangepaste methode werden geen bijkomende grondstoffen geïdentificeerd als zijnde kritiek voor België. Wel zijn er enkele grondstoffen die als niet-kritiek beschouwd werden na het schalen van de evaluatiemethode tot op Belgisch niveau. Deze laatste werden meer in detail

¹¹ Herfindahl-Hirschman Index (HHI) kwantificeert de marktconcentratie in de context van grondstoffenmarkten.

¹² World Governance Index

Tabel 6: Kritieke grondstoffen voor de EU zoals opgenomen in het voorstel voor de verordening kritieke grondstoffen¹³.

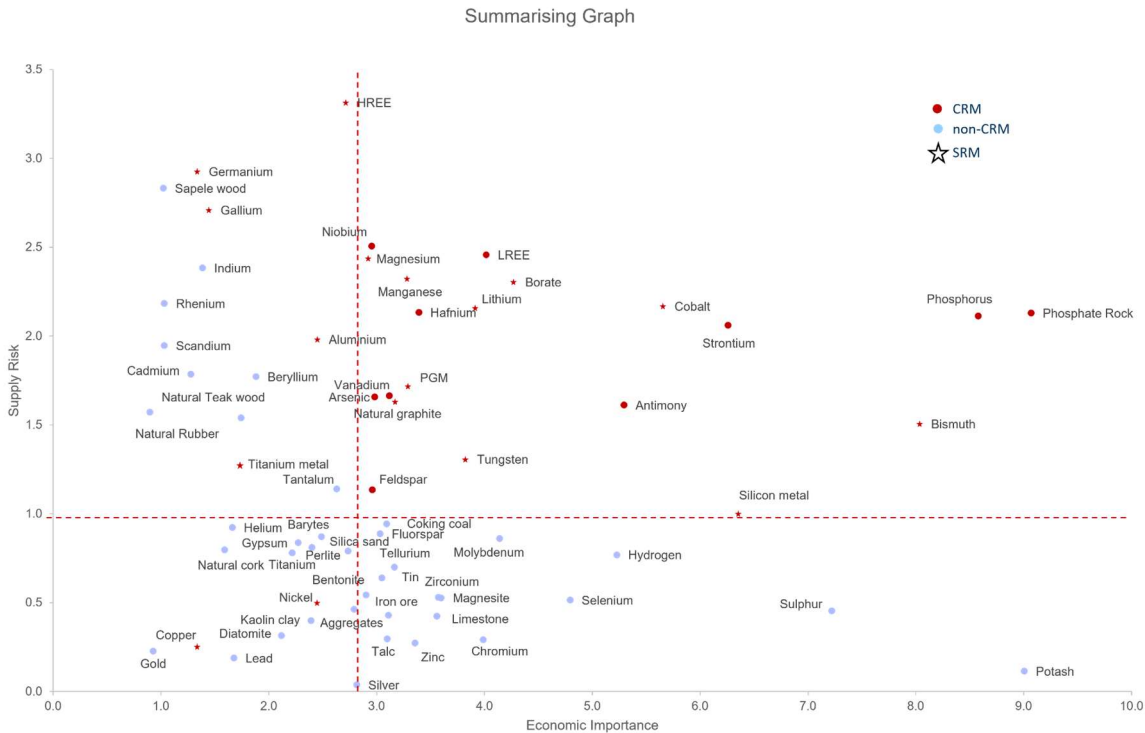
2023 EU Critical Raw Materials (incl. SRM's) (34)			
antimoon (I)	veldspaat (I)	LREEs (II) ¹	strontium (I)
arseen (II)	fluoriet (I)	magnesium (II)	wolfraam (II) ¹
bariet (I)	gallium (II) ¹	mangaan (I) ¹	tantaal (I)
aluminium/bauxiet (I) ¹⁻²	germanium (II) ¹	niobium (I)	titanium metaal (II) ¹
beryllium (I)	grafiet (I) ¹⁻²	PGMs (II) ¹	vanadium (I)
bismut (II) ¹	hafnium (II)	fosfaatgesteente (I)	koper (I) ¹
boor (I) ¹	helium (II)	fosfor (II)	nikkel voor batterijen (II) ¹
kobalt (I) ¹	HREEs (II) ¹	scandium (II)	
cokeskool (I)	lithium (II) ¹	silicium metaal (II) ¹	

¹Strategische grondstoffen

²Zowel natuurlijk als synthetisch; aluminium en synthetisch grafiet zijn later aan het voorstel toegevoegd.

I: extractiefase

II: verwerkingsfase



Figuur 11: Mapping van de geanalyseerde grondstoffen voor hun economisch belang en het bevoorradingsrisico. De figuur geeft resultaten voor België weer. Bron: (Christis, 2024).

¹³ Voorstel voor een VERORDENING VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD tot vaststelling van een kader om een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen, en tot wijziging van de Verordeningen (EU) nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 en (EU) 2019/1020, COM(2023) 160 final, 2023/0079 (COD).

2.3 KRITIEKE GRONDSTOFFEN VOOR VLAANDEREN

De Belgische lijst van kritieke grondstoffen uit het CAMBIUM-project (Tabel 7) wordt gebruikt binnen dit onderzoek. Dit houdt in dat er in een bijkomende stap de resultaten worden overlopen die de toepasbaarheid op Vlaams niveau nader onderzoekt. Verder wordt er rekening gehouden met de twijfelgevallen aangegeven in voorgaand hoofdstuk en worden niet-kritieke grondstoffen die net buiten de criticiteitszone vallen worden, indien nodig, ook beschouwd. Daarnaast wordt er rekening gehouden met de productieafhankelijkheid tussen metalen (zie 'wheel of metal companionship' in Figuur 15). De productie van gallium, een strategische grondstof en dus kritiek, is namelijk afhankelijk van de productie van aluminium. Echter wordt deze laatste als niet-kritiek beschouwd na het schalen van de methode tot op Belgisch niveau. Omwille van deze productieafhankelijkheid is het belangrijk om te werken met clusters (of combinaties) van metalen om deze linken verder op te nemen in het onderzoek en eventuele niet-kritieke basismetalen met kritieke co- of bijproducten alsnog mee te nemen.

Tabel 7: Voorstel tot kritieke grondstoffen voor Vlaanderen.

Bron: gebaseerd op (Christis, 2024).

Kritieke grondstoffen in België (incl. SRM's)			
antimoon (I)	veldspaat (I)	LREEs (II) ¹	strontium (I)
arseen (II)	fluoriet (I)	magnesium (II)	wolfram (II) ¹
bariet (I)	gallium (II) ¹	mangaan (I) ¹	tantaal (I)
aluminium/bauxiet (I) ¹	germanium (II) ¹	niobium (I)	titanium metaal (II) ¹
beryllium (I)	grafiet (I) ¹	PGMs (II) ¹	vanadium (I)
bismut (II) ¹	hafnium (II)	fosfaatgesteente (I)	koper (I) ¹
boor (I) ¹	helium (II)	fosfor (II)	nikkel voor batterijen(II) ¹
kobalt (II) ¹	HREEs (II) ¹	scandium (II)	
cokeskool (I)	lithium (III) ¹	silicium metaal (II) ¹	

¹Strategische grondstoffen

l: extractiefase

II: verwerkingsfase

HREE: zware zeldzame aardmetalen

LREE: lichte zeldzame aardmetalen

PGM: platina metalen

Grondstoffen op de Europese lijst van kritieke grondstoffen, maar niet op de Belgische.

Ook op Vlaams niveau werd onderzoek gepubliceerd dat ingaat op de toekomstige vraag naar grondstoffen. In 2020 publiceerde VITO, in opdracht van OVAM, de studie '**Kritieke materialen in de Vlaamse energietransitie: circulaire economie en klimaat**'. De studie gaat de behoefte aan (kritieke) metalen na die gepaard gaan met de ambities over hernieuwbare energie van de Vlaamse overheid die beschreven staan in het Vlaamse Energieplan 2021-2030. De studie beperkt zich wel enkel tot zonne-energie en onshore windturbines. De resultaten beschrijven de vraag naar 17 grondstoffen: zilver, goud, boor, kobalt, koper, dysprosium, gallium, indium, lithium, mangaan, neodymium, nikkel, lood, praseodymium, terbium, tellurium, en zink. De scope van deze studie is breder dan enkel een focus op de transitie naar hernieuwbare energie. Ook andere (kritieke) grondstoffen komen aan bod.

De analyse maakt duidelijk dat de energietransitie die wordt uiteengezet in het energieplan de vraag naar verschillende kritieke metalen verder doet toenemen. Tekort aan bepaalde grondstoffen kan de bredere bevoorrading en energietransitie nefast beïnvloeden.

////////////////////////////////////

3 WAARDEKETENS ROND KRITIEKE GRONDSTOFFEN IN VLAANDEREN

Dit hoofdstuk geeft een inzicht van de waardeketens rond kritieke grondstoffen in Vlaanderen, met een focus op kritieke metalen en grondstoffen. De structuur van dit hoofdstuk volgt een aanpak op basis van geïntegreerde waardeketens, omdat dit kort aansluit bij de werking van industrie. De geïntegreerde waardeketens gaan uit van een circulair concept, dat zowel een input van primair als secundair materiaal kent. Het uitgangspunt in dit hoofdstuk is om te vertrekken van de basismetalen en vervolgens de kritieke grondstoffen die gelinkt zijn aan de basismetalen ‘toe te voegen’. Hoofdstuk 3.1 gaat uitgebreid in op de aanpak volgens de geïntegreerde waardeketens. Hoofdstukken 3.2, 3.3 en 3.4 gaan respectievelijk in op de verwerking van de grondstoffen, de maakindustrie, en de afvalfase. Voor de geselecteerde grondstoffen wordt een overzicht gegeven van de waardeketen, hun belang voor Vlaanderen en de connectie met de Vlaamse spelers.

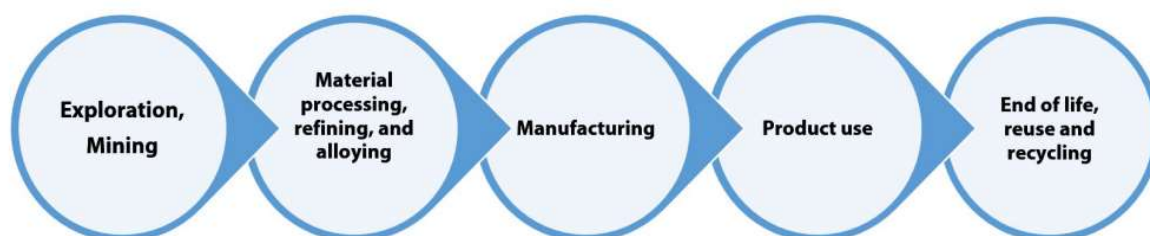
3.1 DE WAARDEKETEN BENADERING

In de CMRA worden grondstoffen ingedeeld in kritieke en strategische grondstoffen, daarbij wordt gekeken naar de waardeketen van elk van de individuele grondstoffen en wordt er geen rekening gehouden met hoe deze kritieke grondstoffen onderling gekoppeld zijn in productieprocessen en -netwerken. Op vraag van de sectorfederaties wordt gevraagd om de grondstoffen te bekijken in hun productie-waardeketen, waarbij wel wordt rekening gehouden met de onderlinge connecties tussen grondstoffen.

3.1.1 Waardeketen

De waardeketen zal beschreven worden volgens de aanpak van GAO (GAO 2022) welke ook werd overgenomen door EU (Ragonnaud, 2023) (Figuur 12). Volgende stappen worden daarbij onderscheiden:

- Exploratie en ontginning;
- Verwerking en bewerking van de materialen en productie van legeringen;
- Productie – maakindustrie;
- Gebruikersfase; en
- Afvalfase, hergebruik, en recyclage.

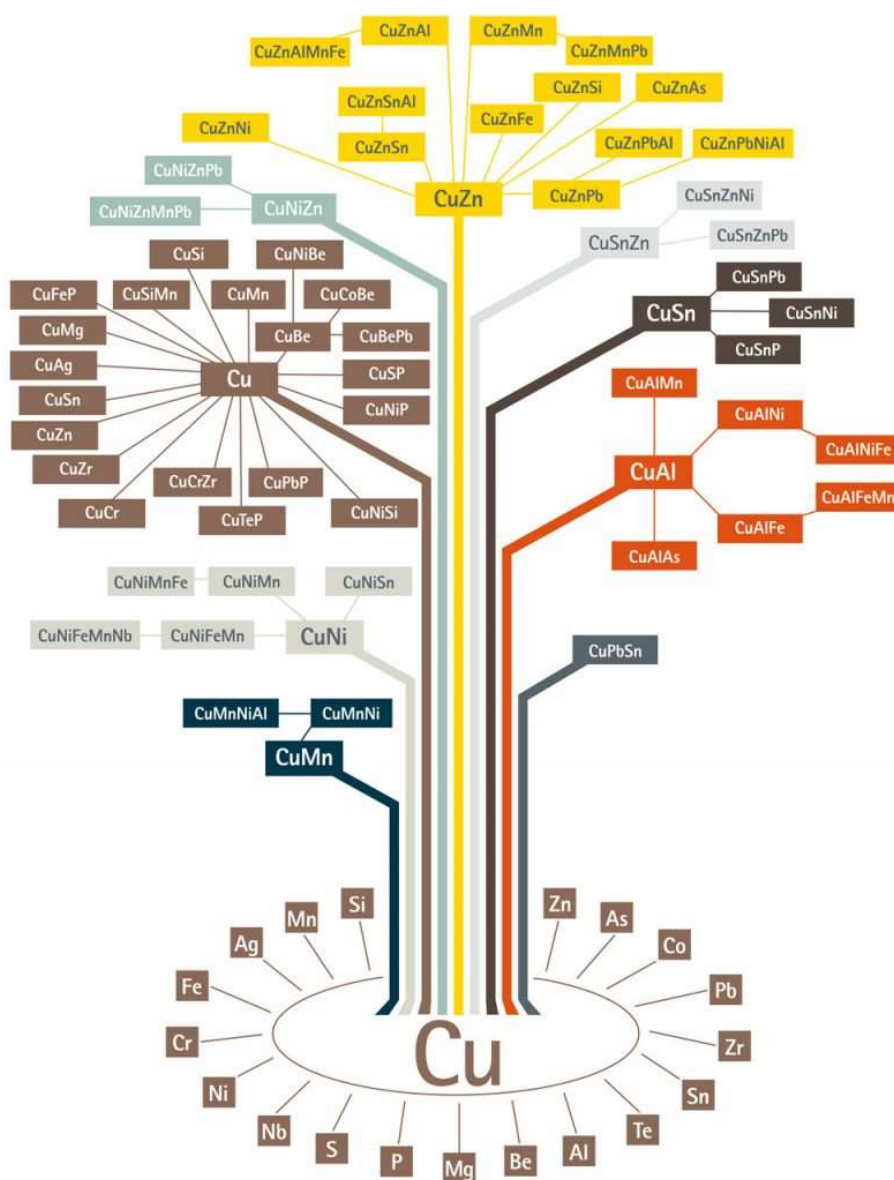


Figuur 12: Verschillende onderdelen van de waardeketen.

Omdat materialen na gebruik terug ingezet kunnen worden, kiezen we hier voor een aangepast schema (Figuur 13):

3.1.3.2 Legierungen

Na de extractie van metalen kunnen deze in zuivere vorm gebruikt worden, maar meestal worden ze verwerkt in legeringen en/of complexe chemische verbindingen; vaak in een verder afgewerkte vorm (halffabrikaat). Legeringen bestaan uit een combinatie van twee of meerdere metalen waardoor de eigenschappen van het basismetaal veranderen (bv. ze maken de metalen buigzamer, harder, etc.) en waardoor ze beter geschikt zijn voor hun uiteindelijke toepassing. Het aantal mogelijke legeringen is zeer uitgebreid. Ter illustratie van deze complexiteit zijn de meest voorkomende koperlegeringen weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: Meest voorkomende koperlegeringen (Kupferverband, 2013)

Bij primaire productie gaat men vaak legeringselementen (al dan niet primair of secundair geproduceerd) toevoegen om de eindlegering te krijgen. Ook bij secundaire productie heeft men vaak nood aan het toevoegen van legeringselementen afhankelijk van de samenstelling van de secundaire grondstoffen (input) die gebruikt worden. Dit kunnen opnieuw primaire of secundaire legeringstoelagen zijn. Uit technische en economische overwegingen worden secundaire stromen bij voorkeur tot op legeringsniveau gescheiden van elkaar, om zo weinig mogelijk primaire

De productie van legeringen staat niet los van de productie van basismetalen en geassocieerde metalen. Er zijn bedrijven die voorlegeringen¹⁴ maken, die ingezet worden bij producenten van basismetalen of verwerkers van basismetalen.

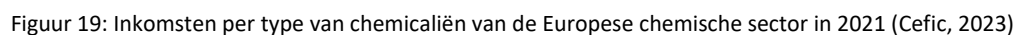
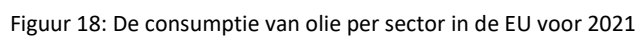
Minerale grondstoffen worden, indien nodig, op de ontginningslocatie opgezuiverd waarna ze gebruiksklaar zijn. Voorbeelden hiervan zijn klei, zand, grind, kalk en dergelijke.

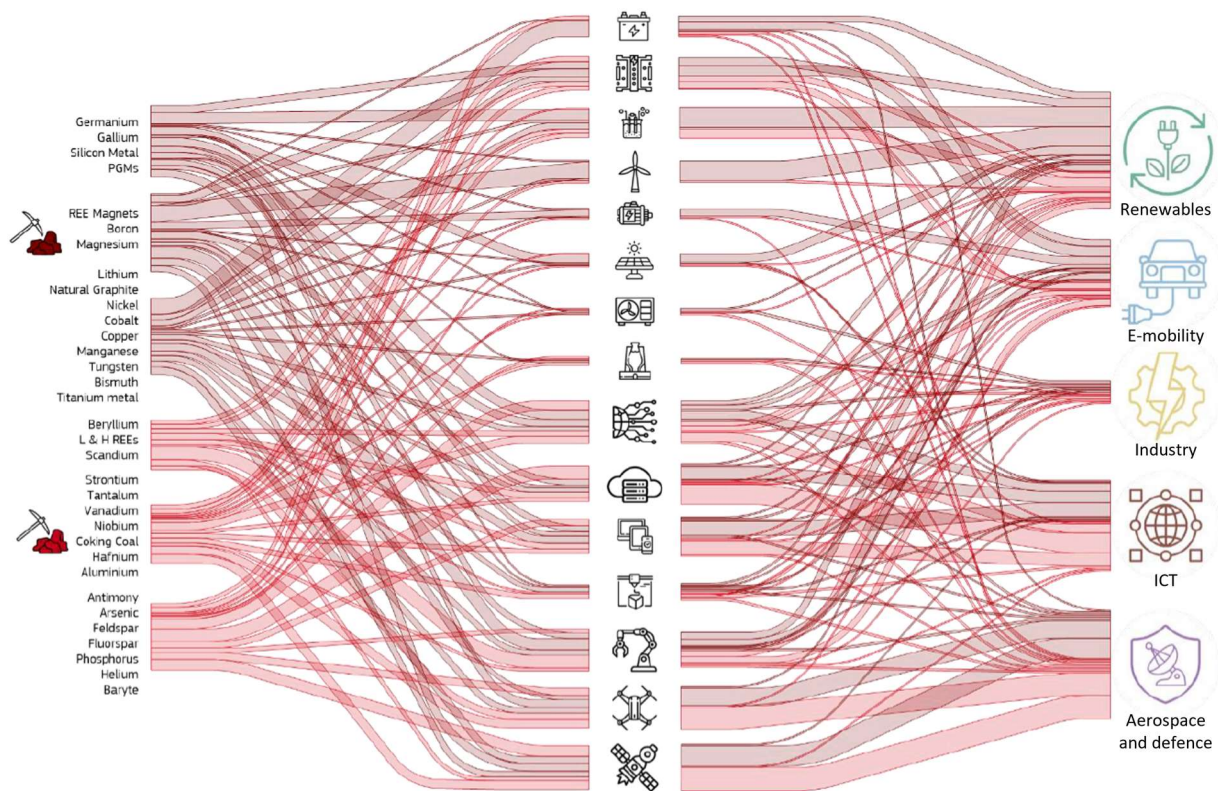
Het aantal minerale grondstoffen die opgenomen zijn in de Europese lijst van kritieke grondstoffen 2023 zijn beperkt (bariet, veldspaat, fluoriet, magnesium, boraten, grafiet, fosfaatgesteenten en fosfor). Geen van deze mineralen wordt ontgonnen of opgewaardeerd in Vlaanderen en zullen in het kader van productie niet besproken worden binnen deze studie.

Voor de productie van chemicaliën wordt gebruik gemaakt van mineralen/ertsen (bijvoorbeeld fosfaatmeststoffen uit fosfaatgesteenten of PFAS-verbindingen uit fluoriet) of organische stromen (veelal nafta en aardgas, maar ook biomassastromen). De Europese en Vlaamse chemiesector zijn economisch belangrijke sectoren (in 2021 in Vlaanderen heeft de chemische sector een aandeel van 14% en de farmaceutische sector een aandeel van 17% in de verwerkende nijverheid¹⁵), toch werden slechts een beperkt aantal basisgrondstoffen voor de chemie opgenomen in de lijst van kritieke grondstoffen (fosfaatgesteente, fosfor en fluoriet). Naast deze basisgrondstoffen zijn er ook enkele toeslagstoffen en actieve bestanddelen van katalysatoren opgenomen in de lijst (o.a. antimoon, arseen, boor, helium, magnesium, molybdeen, platina groep metalen, vanadium, etc.). Echter is de Vlaamse chemiesector vragende partij om bijkomende basisgrondstoffen voor de chemie als kritiek te beschouwen, meer specifiek aardgas en nafta (Maes, 2023).

¹⁵ Regionale Rekeningen, Regionale rekeningen per A38, NBB.

pagina 48 van 134





Figuur 21: Gebruik van SRM in 15 sleuteltechnologieën (Figuur 4) en vijf topsectoren zoals deze gedefinieerd worden in de JRC foresight study (Carrara et al., 2023).

3.1.5 Gebruikersfase

Tijdens de gebruiksfase zullen de verschillende toepassingen gebruikt worden. De levensduur van producten is sterk uiteenlopend: van kortstondig, eenmalig gebruik tot een levensduur van verschillende decennia. Hierna zal de gebruiker zich ontdoen van het product en zal deze in een afvalfase terecht komen. Als de gebruiker zich echter niet ontdoet van het product, bijvoorbeeld de naar schatting 31 lege batterijen die bij huishoudens achterblijven¹⁶, blijven deze geïmmobiliseerd in de stock.

De gebruiksfase valt buiten de scope van deze studie.

3.1.6 Afvalfase, hergebruik, recyclage

Na het gebruik van producten komen de materialen in de afvalfase terecht. Afhankelijk van het product en het gebruik, zullen deze nog bepaalde grondstoffen, al dan niet in hoge concentratie bevatten. Omwille van diverse redenen (o.a. economische waarde, gezondheid en veiligheid, milieu en klimaat) zullen grondstoffen maximaal teruggewonnen worden en minimaal verbrand of gestort worden.

Omwille van de grote verscheidenheid van producten en type van gebruikers zijn er verschillende recyclageketens ontstaan. Zo zijn er o.a. aparte inzamelcircuits voor batterijen, elektrische apparaten en wagens waarvoor verschillende terugnameplichten bestaan.

¹⁶ harpentier Poncelet, A., Helbig, C., Loubet, P. et al. Losses and lifetimes of metals in the economy. Nat Sustain 5, 717–726 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00895-8>

H																	He						
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
Cs	Ba	lanthanoids	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn						
Fr	Ra	actinoids	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Fl		Lv									
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu									
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr									

● In-use dissipated

● Currently unrecyclable

● Potentially recyclable

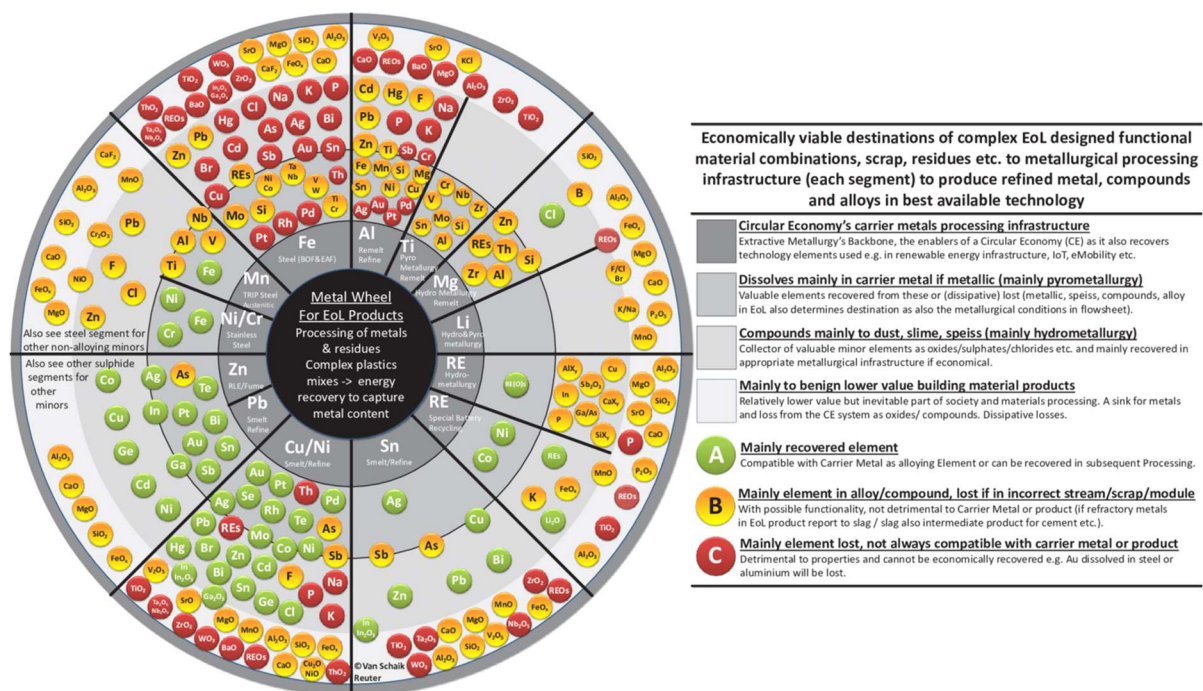
● Unspecified

Het systeem van inzameling van producten en grondstoffen bepaalt mede het potentieel voor de latere terugwinning van de grondstoffen. De beperkte inzameling van producten die geen nuttig gebruik kennen in de stock is bijvoorbeeld een gekend probleem voor batterijen en kleine elektronica. (Vandenbossche, 2013) (Ecker, 2023).

¹⁷ <https://www.nature.com/articles/s41893-022-00895-8>

Zo kunnen metalen die aanwezig zijn in ijzerlegeringen niet of nauwelijks gerecycleerd worden. Deze metalen zullen in de slakken (afvalstroom van het metallurgisch proces) terecht komen. Terwijl metalen die samen met koper gesmolten worden, zoals goud of zilver uit elektronisch afval¹⁸, wel gerecycleerd kunnen worden. De recycleerbaarheid van de geassocieerde elementen hangt dus af van de legering of de materiaalsamenstelling waarin ze origineel gebruikt werden, maar ook van de mate waarin onderdelen ontmanteld en gescheiden werden voor ze verwerkt werden in een metallurgisch proces met een specifieke focus. Metallurgische processen hebben vaak een focus op specifieke metaalstromen met een specifieke samenstelling (ook concentratie), inclusief de vervatte ander metalen. De recyclage stroom die in een bepaalde installatie verwerkt wordt, zal afgestemd worden op de technische (maar ook economische rendabiliteit) mogelijkheden om deze metalen te scheiden via het metallurgisch proces. Verhoef et al. (Verhoef et al., 2004) heeft een visualisatie gemaakt van de samenhang van metalen in metallurgische processen, welke gekend is onder de naam “**metal wheel for end-of-life products**”. In 2018 werd een aangepaste versie gepubliceerd (Figuur 23).

Gelijkaardig aan het “wheel of metal companionship” staan in dit wiel opnieuw de metallurgische processen centraal, zij het niet één op één dezelfde als deze van de primaire productie. Metalen in het groen, kunnen via een bepaalde route gerecycleerd worden, volgens de huidige stand der technologie. Metalen in het geel kunnen enkel gerecycleerd worden mits aan bepaalde omstandigheden voldaan is. De metalen in het rood komen meestal in de afvalstroom (slak) terecht en zijn niet meer beschikbaar voor hergebruik.



Figuur 23: “The Metal wheel” (Reuter et al., 2018).

3.1.7 Aanpak studie

Hoofdstuk 3.1 geeft een duidelijk beeld van hoe de productie van basismetalen en geassocieerde metalen onlosmakelijk met elkaar gekoppeld zijn. Voor zowel de primaire als de secundaire

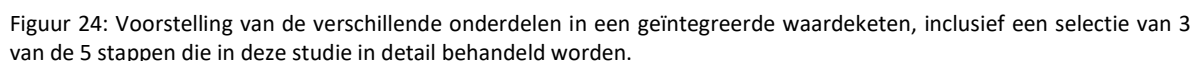
¹⁸ Elektronisch afval, bv printplaten uit computers of mobiele telefoons, bevatten naast koper ook kleine zilver of goudonderdeeltjes.

Op basis hiervan is gekozen om in het resterend deel van dit hoofdstuk de nadruk te leggen op drie van de vijf stappen uit de geïntegreerde waardeketen (Figuur 24). De aanpak en structuur van deze drie stappen is verschillend:

- Om de waardeketen van de kritieke grondstoffen in kaart te brengen, wordt geopteerd om dit te doen vanuit de procesketen. Daarbij zal gekeken worden naar de productie van basismetalen en geassocieerde metalen.
- Per geproduceerd materiaal wordt volgende data-inzameling beoogd:
 - Cijfers inzet (aanbods- en gebruiksdata) grondstoffen op basis van de beschikbare handelsdata
 - Aandeel van de productie(capaciteit) in Vlaanderen t.o.v. de EU-productie
 - Aandeel van de Vlaamse productie t.o.v. het gebruik in Vlaanderen
- Voor legeringen wordt een overzicht gemaakt van de nodige kritieke grondstoffen waarvan ze afhankelijk zijn.
- Indien mogelijk wordt er voor de legeringen ook aangegeven of toelevering via Vlaamse metallurgische bedrijven gaat.

- Omwille van de grote diversiteit binnen de maakindustrie wordt binnen deze studie enkel gefocust op de sleuteltechnologieën en topsectoren (zie Figuur 4) waarvan productieactiviteiten aanwezig zijn binnen Vlaanderen.
- Per technologie worden de Vlaamse bedrijven in kaart gebracht, zowel voor de productie van onderdelen alsook assemblage
- Een overzicht wordt gemaakt van de input aan kritieke grondstoffen waar ze afhankelijk van zijn op basis van data uit de JRC-studie (Carrara et al., 2023)
- Ook hier geven we aan of ze kunnen steunen op leveringen via Vlaamse metallurgische bedrijven

- Voor dit onderdeel van de waardeketen zal gekeken worden naar de bestaande recyclageketens in Vlaanderen en opportuniteiten.
- De verzamelde informatie wordt aangevuld met een overzicht van de volumes en de potentiële aanwezigheid van kritieke grondstoffen.



Om binnen elk van deze drie stappen de Vlaamse verankering te duiden, worden relevante bedrijven bij naam en locatie genoemd. Hoewel ernaar gestreefd wordt om zo volledig mogelijk te zijn, is het onvermijdelijk dat dit overzicht onvolledig is.

De stappen exploratie en ontginning alsook de gebruiksfase worden niet verder behandeld.

3.2 VERWERKING VAN DE MATERIALEN

In Vlaanderen worden uit verschillende ertsen en secundaire grondstoffen basisgrondstoffen (metalen en niet-metalen) geproduceerd. Dit wil zeggen dat de grondstoffen een output zijn van bedrijven gevestigd in Vlaanderen. Een overzicht wordt opgesteld voor volgende grondstoffen:

- Productie van basismetalen, met name staal en roestvrijstaal, aluminium, koper, lood, zink, tin en nikkel
- Productie van speciale metalen: antimoon, bismut, indium, selenium, tellurium, germanium, kobalt, lithium, arseen, lithium, zilver, goud en platina groep-metalen.
- Productie van fosfaat
- Legeringen

In deel 3.2.11 gaan we in op de milieueffecten geassocieerd met kritieke grondstoffen en materialen.

3.2.1 Productie van staal, roestvrijstaal en andere ijzerlegeringen

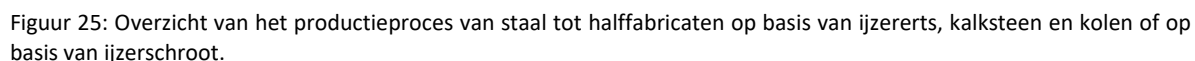
3.2.1.1 Beschrijving Vlaamse sector en bedrijven

IJzer is het belangrijkste metaal (naar volume) dat verwerkt wordt. In hoogovens wordt ijzererts omgezet naar vloeibaar ruwijzer, dit wordt in de staalfabriek omgezet tot staal. Tijdens deze productiestap wordt klassiek schroot toegevoegd in een bepaalde hoeveelheid (10%-20%). Het vloeibaar staal wordt continu gegoten, om vervolgens zogenaamde slabs te maken welke dan omgezet worden tot halffabricaten die warm en soms ook nog koudgewalst worden tot staalplaten in verschillende dikten, dit zijn vlakke staalproducten, waarbij lange staalproducten (profielen, walsdraad, etc.). Afhankelijk van de eindgebruiker en toepassing worden er tijdens het productieproces legeringselementen toegevoegd. Om te voorkomen dat het staal oxideert kan het op vraag van de eindgebruiker verzinkt of geverfd worden. Dit laatste is vaak een aparte processtep die in Vlaanderen downstream van de staalproductie gebeurt. Figuur 25 geeft een overzicht van de productie van staal tot halffabricaten.

In Vlaanderen is een staalbedrijf gevestigd, namelijk ArcelorMittal Belgium met vestigingen in Gent, Geel en Genk. Het bedrijf heeft in België ook nog een vestiging in Luik, waar enkel gewalst wordt en er geen primaire staalproductie meer aanwezig is. De productiecijfers in Tabel 8 zijn uitgedrukt op groepsniveau en waar mogelijk gesplitst op locatie op basis van de activiteiten per locatie. In Gent bevinden zich de hoogoven- en walsactiviteiten, daarnaast zijn er ook nog verschillende verzinklijnen. In Luik heeft Arcelor verschillende verzinklijnen en een coatinglijn. In Genk bevindt zich een elektrolytische verzinklijn en in Geel een organische coating lijn (verflijn). Daarnaast zijn er in Wallonië nog andere spelers, Tata Steel, NLMK en Riva, gevestigd.

Bij ArcelorMittal in Gent wordt zowel primair ijzererts als ijzerschroot als inputmateriaal gebruikt. Wanneer gestart wordt van ijzererts, dient in een aparte installatie cokeskolen geproduceerd te worden op basis van steenkool. IJzer of ijzererts worden niet beschouwd als kritieke grondstoffen, cokeskolen en een aantal legeringselementen daarentegen wel.

Indien gestart wordt vanuit schroot dan is er minder energie nodig voor de productie en kan het materiaal gesmolten worden in een elektrische boogoven. In tegenstelling tot de standaard ijzerproductie in hoogovens (primaire route) is deze vorm van staalproductie veel minder CO₂-intensief. Mede omwille van deze reden wordt deze technologie naar voren geschoven als een van



Tabel 8. Productievolumes staal en ijzerlegeringen in Vlaanderen. Let wel, tonnages kunnen niet opgeteld worden omdat bepaalde outputstromen (gedeeltelijk) een inputstroom voor anderen zijn.

Bedrijf	Input stromen /Producten	Benodigde volumes /Productievolumes in ton/jaar	Website
ArcelorMittal Gent	Steenkool (input)	2.500.000-2.600.000*	belgium.arcelormittal.com/
	Cokeskolen	1.252.164 *	
	Ruwijzer	4.403.021 ¹ * 6 909 000 **	

3.2.2.1 Beschrijving Vlaamse sector en bedrijven

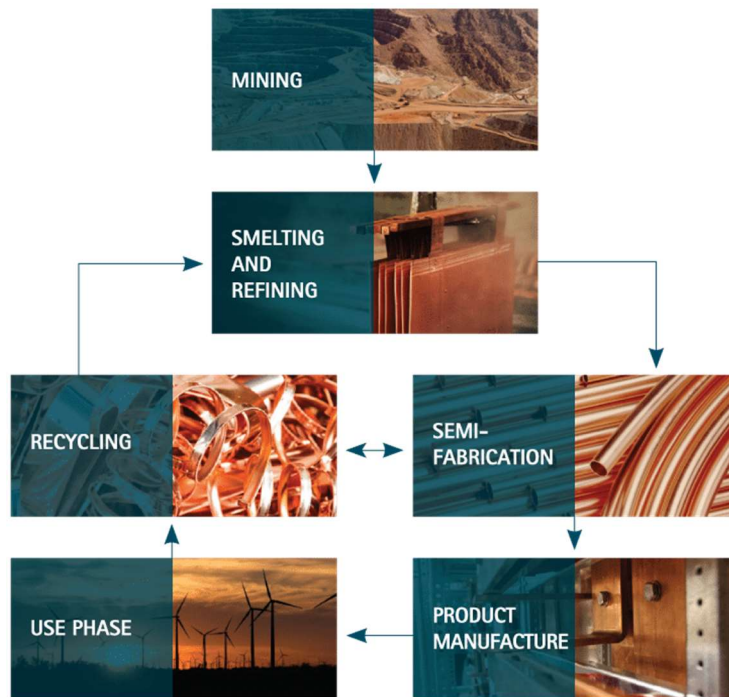
In Vlaanderen produceren Aurubis, Umicore, Lamifil en Affilips koper. Aurubis doet dit in zijn vestigingen in Olen en Beerse. Aurubis maakt deel uit van de Duitse Aurubis groep. Umicore is een Belgisch bedrijf waarvan het hoofdkantoor in Brussel gelegen is en de productie-eenheden in Brugge, Hoboken en Olen; de koperproductie gebeurt in Hoboken. Lamifil produceert koperwalsdraad in Hemiksem en Affilips produceert koperlegeringen met allerlei kritieke grondstoffen in Tienen.

- Aurubis Beerse: verwerken van stromen met lage koperconcentraties (in combinatie met lood-, tin-, nikkellegeringen) volgens de hydrometallurgische route of pyrometallurgie-route gevolgd door electro-raffinage (Figuur 26);
- Aurubis Olen: verwerking van stromen met hoge koperconcentraties volgens de pyrometallurgische route gevolgd door electro-raffinage (Figuur 26).
- Lamifil Hemiksem: verwerking van diverse zuivere koperstromen;
- Affilips Tienen: verwerking van zuiver koperschroot – met een focus op bepaalde koperlegeringen;
- Umicore Hoboken: verwerking van diverse complexe materialen die naast koper, lood en nikkel ook tal van andere metalen bevat. Deze productie wordt besproken onder paragraaf 0.

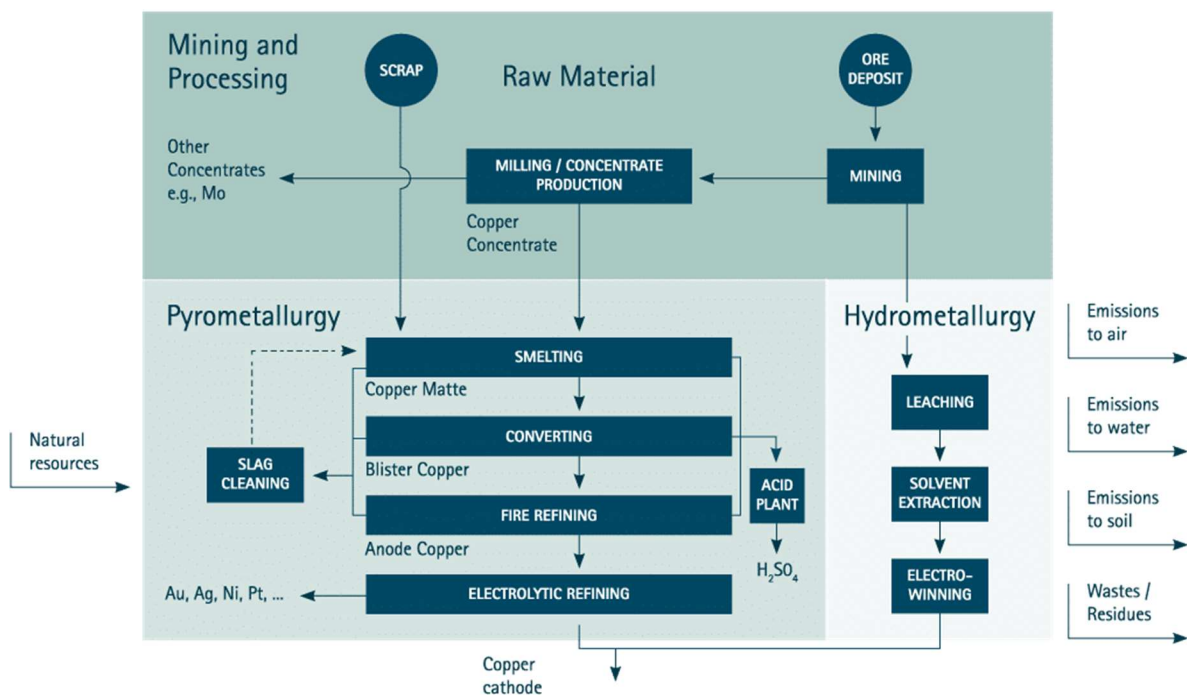
Tabel 9. Types van secundaire inputmaterialen, geordend van lage koperconcentraties naar hoge koperconcentraties ((Rentz, 1999) aangevuld met recentere data na de stakeholder bevraging).

Type materialen	Cu concentratie (wt-%)	Bronnen
Gemengde koperslibs	1–25	Koper galvanisatie
Computer scrap	15–20	Productie elektronica, AEEA schroot
Koper mono-sludges	2–40	Galvaniseren
Koper-ijzer houdende materialen van armaturen, rotoren, e.d	10–20	Productie elektrische onderdelen
Messing dross en slakken die koper bevatten	10–40	Gieterijen en producenten van halffabricaten
Roodkoper dross en slakken die koper bevatten	10–40	Gieterijen en producenten van halffabricaten
Shredder materiaal	30–80	Shredder installaties
Koper-messing radiators	60–65	Auto's – mogelijk gaat een deel van deze stromen naar de aluminiumindustrie
Gemengd rood-messing scrap	70–85	Water meters, tandwielen, kleppen, kranen, machineonderdelen, lagers, propellers, fittingen

Licht koper scrap	88–92	Koperplaten, dakranden, dakgoten, waterkokers, verwarmingstoestellen
Zwaar koper scrap	90–98	Platen, koperen ponsen, glijrails, draden, buizen
Gemengd koper scrap	90–95	Licht en zwaar koper scrap
Koperen granulaten	90–98	Afkomstig van het verkleinen van kabels
Pure No 1 scrap	99	Halfabricaten, koperkabels



Figuur 26. Schematisch overzicht van de koperwaardeketen ((Copper Alliance, 2023)).



Figuur 27. Schematisch overzicht van de productie van koper kathoden uit ertsen((Copper Alliance, 2023)).

Tabel 10. Concentratie aan onzuiverheden in de koperanode en koperkathode (Rentz, 1999).

Element	Concentratie in de anode (g/t)	Concentratie in de kathode (g/t)
Zilver	600–720	9–10
Selenium	50–510	< 0.5

Prijs metalen – Londen Metal Exchange

De basismetalen worden dagelijks verhandeld op de Londen Metal Exchange (LME) (<https://www.lme.com/>), vergelijkbaar met een klassieke beurs waar metalen aangekocht en verkocht kunnen worden met alle mogelijke financiële producten eraan gekoppeld. Producenten kunnen er metalen verkopen die -indien gewenst- zelfs in stock gelegd worden in één van de internationale warehouses. Dit is in zuivere vorm, de zogenaamde LME kwaliteit. Belangrijker is dat metalen dagelijks tussen kopers en verkopers verhandeld worden aan de beursprijs die schommelt op de Londen Metal Exchange, maar die wereldwijd als referentie gebruikt wordt voor deze non-ferrometalen. Met andere woorden een ton koper (met een LME-kwaliteit) geproduceerd in België, China, USA of Australië kost steeds evenveel.

Het concept is dat de non-ferrometaalinhoud van zowel ertsen als secundaire grondstoffen aan de LME-prijs geëvalueerd wordt, vertrekkende van een analyse van de samenstelling die cruciaal is voor deze waardebeoordeling. Van daaruit zijn er verschillende businessmodellen mogelijk, gaande van aankoop van het lot door de verwerker, het teruggeven van de aanwezige metalen in het lot aan de eigenaar, etc. Er wordt een raffinage/recyclage efficiëntie afgesproken dat al dan niet gecombineerd met een verwerkingsvergoeding. Ook kunnen bepaalde onzuiverheden met een impact op het proces, aangerekend worden aan een zogenaamde penalty. Analyses zijn daarom cruciaal net als de productie efficiëntie (zowel procesmatig als kostenmatig). Een bepaald bedrijf kan namelijk winstgevender worden wanneer het erin slaagt om efficiënter te werken i.v.m. concurrenten (o.a. minder energieverbruik, snellere doorstroom, hogere recovery percentage van metalen, en recuperatie van bijkomende uit de stroom). Er is geen onderhandeling mogelijk over de prijs van de non-ferrometalen die op de markt gezet worden, deze prijs ligt vast via de London Metal Exchange of andere internationaal erkende noteringen. De sector is dus een 'pricetaker' met een zeer belangrijke uitdaging op het vlak van kostenefficiëntie.

Door interacties van speculanten zijn de metaalprices zeer volatiel. Producenten, die grondstoffen (ertsen of secundaire stromen) inkopen, moeten zich beschermen tegen deze hoge volatiliteit. Zij gaan daarom "hedgen". Hedgen is het beschermen van de waarde van de ingekochte metalen – dit kan door een aankoop en verkoop op dezelfde moment te doen van eenzelfde hoeveelheid metaal zodat de prijsschommeling van de metalen, maar ook van de dollar (= referentiemunt) tenietgedaan worden. Dit kan bijvoorbeeld door het afsluiten van een futures contract – dit houdt in dat de levering van bepaalde metalen in de komende drie maanden²⁰ gebeurt aan de prijs die nu vastligt als referentie.

De prijsvorming en de kost voor hedgen, maakt dat "strategische" voorraden aanleggen leidt tot een hoge immobilisatie van middelen.

Voor metalen die niet genoteerd worden op de London Metal Exchange, gelden deze regels niet, maar bestaan er vaak wereldwijde referentienoteringen die eveneens internationaal gebruikt worden en er is ook een wereldprijs met eenzelfde mechanisme.

Voor halffabricaten van non-ferrometalen (draden/ platen/ balken e.d.), welke wel genoteerd worden op de LME, wordt vaak vertrokken van de kostprijs van het non-ferrometaal op basis van de LME verhoogd met een premie voor de productie van een bepaald halffabricaat. Dit biedt vaak een hogere toegevoegde waarde waardoor heel wat bedrijven, waar mogelijk, opschuiven naar de productie van halffabricaten of complexe producten zoals legeringen.

3.2.2.2 Impact van de Vlaamse sector ten opzichte van de Europese en wereld markt

De Vlaamse koperindustrie produceert ongeveer 432 000 ton ruw koper, daarmee wordt ongeveer **10% à 11% van de EU-consumptie** afgedekt welke ongeveer 3,7 miljoen ton per jaar bedraagt (zie Tabel 12). In totaal worden in Vlaanderen 432 000 ton ruw koper geproduceerd om verwerkt te worden in de sector in 247 700 ton koperhalffabricaten.

Tabel 12 Koper vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen uit Tabel 11.

²⁰ Futures contracten kunnen ook op langere en kortere termijn, maar 3 maanden is de gangbare termijn.

Koper (I ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status		CRM - SRM	CRM - SRM	
Consumptie (ton/jaar)		3.688.055		
Productie (ton/jaar)*	24.132.631			432.000 * 11% EU-consumptie
	Producenten: China 38% Chili 10% Japan 6% Congo, D.R. 4% Rusland 4% UMI 4% Duitsland 3% India 3% Zuid-Korea 3%	Leveranciers ²² : Duitsland 18% Polen 15% Spanje 11% België 10% Rusland 8% China 7% Zweden 6% Bulgarije 6% Finland 4% Oostenrijk 3% Congo 3%	Leveranciers ²² : Bulgarije 35% Duitsland 25% Spanje 17% Namibië 15% Chili 3% Pakistan 1% Italië 1% Zweden 1% Nederland 1%	

* Productie koperkathoden met een zuiverheid van meer dan 99%.

Uit de JRC-forecaststudie, welke zich richt op de 5 topsectoren voor de energietransitie, blijkt dat de vraag naar koper zal stijgen. Op basis van deze cijfers heeft VITO een berekening uitgevoerd in welke mate de productiecapaciteit in Vlaanderen dient te stijgen om zijn aandeel in de Europese productie te blijven behouden.

Voor de **producenten van koperkathodes zal een verhoging van de productie nodig zijn van 8% tot 32%** afhankelijk van het scenario (hoge vraag versus lage vraag en de tijdshorizon: 2030 of 2050) om de Europese marktpositie te behouden. Deze capaciteitsverhoging gaat ervan uit dat er enkel een stijging is van de vraag naar koper vanuit de vijf, door JRC aangeduide, sectoren. Er werd geen rekening gehouden met stijgende of dalende vraag uit andere sectoren.

Behalve koper gebruikt de industrie ook verschillende legeringselementen, waarvan sommige als kritiek geklasseerd zijn waaronder nikkel, kobalt, niobium, magnesium en mangaan.

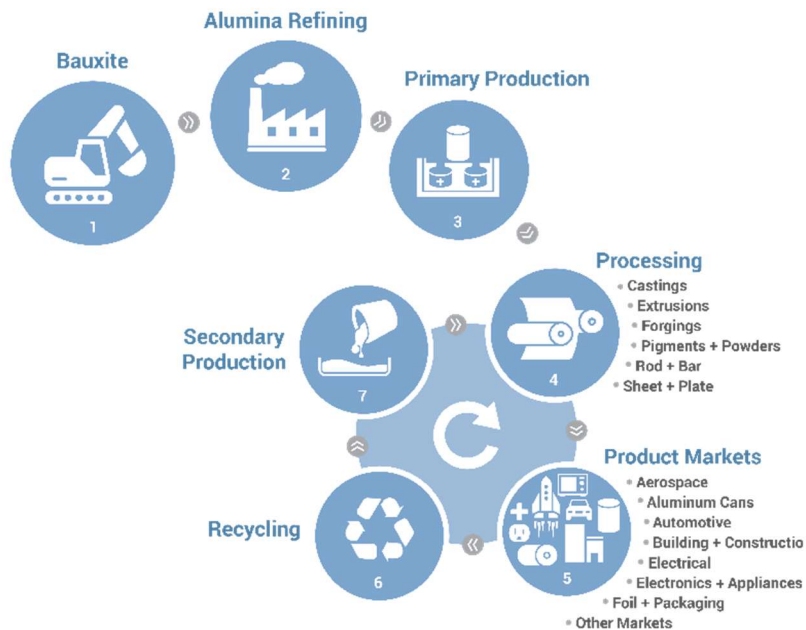
3.2.3 Productie van aluminium

3.2.3.1 Beschrijving Vlaamse sector en bedrijven

Aluminium is na ijzer het belangrijkste qua volume basismetaal. Figuur 28 toont de waardeketen van dit materiaal. In Vlaanderen is er geen primaire aluminiumproductie, wel zijn er enkele belangrijke producenten van aluminium halffabricaten die al dan niet vertrekken van aluminium schoot, namelijk Aluminium Duffel, E-MAX, Hydro Extrusion Lichtervelde, Remi Claeys Aluminium en Lamifil.

²¹ Voor de identificatie van kritieke grondstoffen wordt in de EU-methodologie rekening gehouden met zowel de extractiefase (fase I) als de verwerkingsfase (fase II) van de beschouwde grondstoffen. Dit wil zeggen, dat voor beide stappen van de waardeketen het toeleveringsrisico berekend wordt. De fase met het hoogste risico wordt beschouwd als de bottleneck in de waardeketen en deze fase wordt verder meegenomen in de analyse. Ook voor de identificatie van kritieke grondstoffen in België wordt dit principe gehanteerd, zo wordt in de vraag en aanbod tabellen telkens de bottleneckfase voor de kritieke grondstoffen in België weergegeven (i.e. extractiefase (I) of verwerkingsfase (II)).

²² Bij de interpretatie van deze handelscijfers zijn er onzekerheden over het mogelijke "Rotterdam-effect", d.w.z. dat de wederuitvoer van grondstoffen en producten door sommige landen misleidend kan geïnterpreteerd worden als zijnde productiecijfers.



Figuur 28. Waardeketen van aluminium (Aluminum association, 2023a)

Voor de productie van halffabricaten wordt maximaal gebruik gemaakt van secundair aluminium. Afhankelijk van de vereisten van de gebruiker worden legeringselementen toegevoegd tijdens het gieten of extruderen²³, maar natuurlijk worden de legeringselementen in aluminium schroot optimaal ingezet.

Er zijn acht grote groepen van legeringen te onderscheiden met elk een nummer (Tabel 13). Deze legeringselementen zijn bij hergebruik niet te herwinnen uit het aluminium (zie paragraaf 3.1.3 - Figuur 23), maar worden klassiek hergebruikt in de productie van de specifieke aluminiumlegeringen voor de klanten. Het is daarom van belang dat de verschillende aluminiumlegeringen en types goed gescheiden worden om aldus in de juiste recyclageketen terecht te komen en een gesloten systeem te vormen (Aluminum association, 2023b). Standaard worden de verschillende legeringen van aluminium in de schrootverwerking goed gescheiden vooral omdat hierdoor een meerwaarde gegenereerd wordt.

Tabel 13. Aluminium legeringen

1xxx: zuiver aluminium
2xxx: Aluminium - Koper legeringen
3xxx: Aluminium - Mangaan legeringen
4xxx: Aluminium - Silicium legeringen (voornamelijk gietlegeringen)
5xxx: Aluminium - Magnesium legeringen (voornamelijk gewalste plaatlegeringen)
6xxx: Aluminium - Magnesium - Silicium legeringen (voornamelijk extrusielegeringen)
7xxx: Aluminium - Zink legeringen
8xxx: Overige

Aluminium Duffel (Duffel) is één van de belangrijkste aluminiumwalserijen van Europa, zij produceren vlak aluminium voor o.a. de auto-industrie en architecturale toepassingen.

²³ Bij extrusie wordt een dikke staaf metaal met grote kracht door een matrijs geduwd en krijgt zo vorm als extrusieprofiel. Dit proces wordt uitgevoerd bij verhoogde temperatuur maar wel in de vaste toestand.

Tabel 15. Aluminium vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 14).

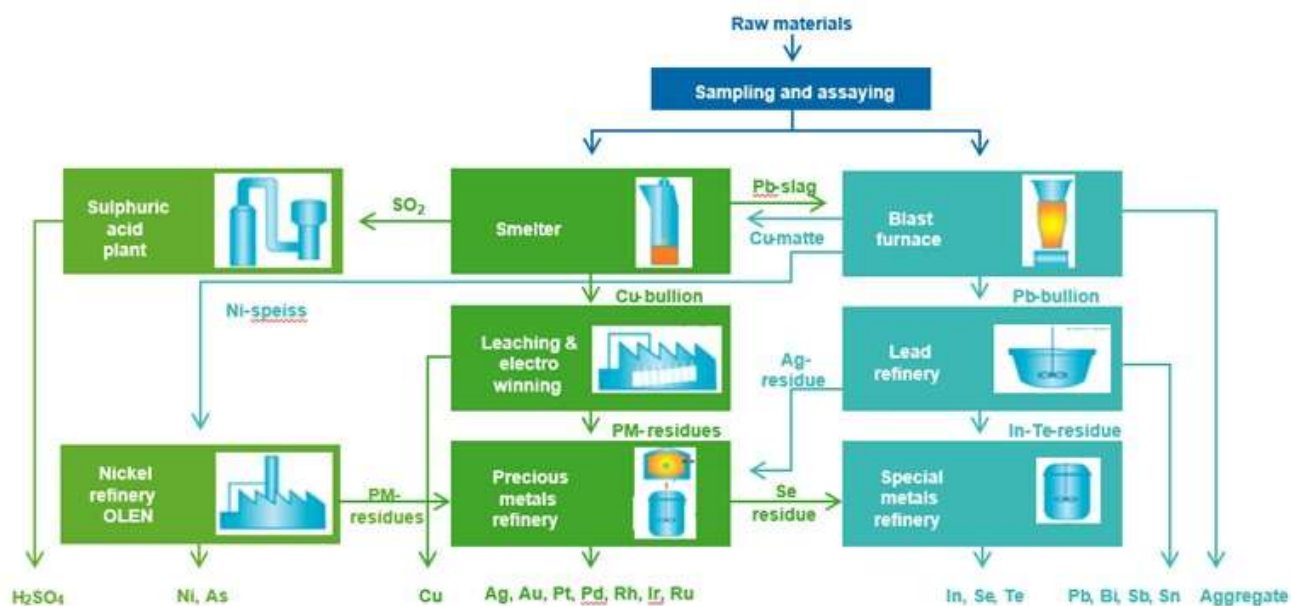
Aluminium (I ²¹) (data betreft aluminium vraag en aanbod, en niet bauxiet)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status				
Consumptie (ton/jaar)		4.980.933		
Productie (ton/jaar)*	62.734.647			> 350.000 8% EU consumptie
	Producenten: China 55,6% Russia 6,0% India 5,5% Canada 4,9% United Arab Emirates 4,1% Australia 2,5% Norway 2,1% Bahrain 1,9% United States 1,5% Malaysia 1,2% Saudi Arabia 1,2% Argentina 1,2% Brazil 1,1% Iceland 1,1% South Africa 1,1% Qatar 1,0%	Leveranciers ²² : Russia 19% Germany 10% Mozambique 9% Iceland 8% France 8% Spain 6% Romania 5% Greece 3% Slovakia 3% Canada 2% Sweden 2% United Arab Emirates 2% UK 1% India 1% Kazakhstan 1% South Africa 1% Norway 1% Slovenia 1% Netherlands 1% Cameroon 1% Egypt 1% Saudi Arabia 1% Bahrain 1% Brazil 1% Ghana 1% Montenegro 1% Oman 1%	Leveranciers ²² : Duitsland 49% Nederland 24% Finland 13% Frankrijk 12% India 1% Zweden 1% UK 1%	

Noot: de cijfers voor invoer (naar de EU en naar Vlaanderen) betreffen aluminiumerts en concentraten. De Vlaamse productie betreft halffabricaten.

Uit de JRC-forecaststudie, welke zich richt op de vijf topsectoren voor de energietransitie, blijkt dat de vraag naar aluminium zal stijgen. Op basis van deze cijfers heeft VITO een berekening uitgevoerd om in te schatten in welke mate de Vlaamse productiecapaciteit dient te stijgen om het aandeel in de Europese productie te behouden. Voor de **verwerking van aluminium zal de productie met 11% tot 34% moeten toenemen** afhankelijk van het scenario (hoge vraag versus lage vraag en de tijdshorizon: 2030 of 2050). Deze capaciteitsverhoging gaat ervan uit dat er enkel een stijging is van de vraag naar aluminium vanuit de vijf, door JRC aangeduide, sectoren. Er werd geen rekening gehouden met stijgende of dalende vraag uit andere sectoren.

3.2.4.1 Beschrijving Vlaamse sector en bedrijven

Aurubis in Beerse focust zich op de recyclage van diverse complexe laagkoper houdende stromen waarbij vaak ook lood- en tin als legeringselement aanwezig zijn. Daarnaast zetten zij ook een aantal loodhoudende afvalstromen (met tin) in voor recyclage.



Figuur 29. Geïntegreerde koper en loodsmelter bij Umicore Hoboken (Umicore, 2023).

Tabel 16. Productiecapaciteit van lood, antimoon, tin en bismut in Vlaanderen

Bedrijf	Producten	Productievolumes ton/jaar	Website
Umicore- Hoboken	Lood	125.000 (UMICORE, 2023a)	https://www.umicore.be/nl/
	Antimoon als NaSbO ₃ ²⁴	6.000 (UMICORE, 2023a)	
	Tin ²⁵	1.500 ton (Zuber et al., 2004)	
	Bismut	400 ton (Zuber et al., 2004)	
	Indium	30 - 50 (UMICORE, 2023a; Zuber et al., 2004)	
	Selenium	300 – 600 (UMICORE, 2023a; Zuber et al., 2004)	
	Tellurium	150 (UMICORE, 2023a)	
Campine Volledige groep (inclusief Franse vestigingen)	Lood (inclusief geassocieerde metalen) ²⁶	91.800 (Campine, 2023)	https://www.campine.com/
	Antimoon (inclusief kunststofrecycling)	18.500 ²⁷ (Campine, 2023)	
Aurubis Beerse	Tin	10.000 (Docker, 2023)	Aurubis.com
	Lood	25.000 (Docker, 2023)	

²⁴ Gewichtspercentage Sb is 61%.

²⁵ Dit wordt op de markt gebracht als Calciumstanaat en door derden opgewerkt tot tin.

²⁶ Dit cijfer is gebaseerd op de hoeveelheid batterijen die door Campine verwerkt worden. Sommige batterijen worden enkel gebroken en door derden verder verwerkt. Het productiecijfer voor lood is dus een overschatting

²⁷ Dit betreft de productie van antimoontrioxide en de hoeveelheid brandvertragende masterbatches. Dit bevat niet de kunststofrecycling in Frankrijk.

Tabel 18. Tin vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 16).

Tin (II ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status				
Consumptie (ton/jaar)		49.000 33.200 (factsheet 2020)		
Productie (ton/jaar)*	300.440 361.000 (factsheet 2020) 383.000 (world mineral production 2021)	11.900 – 14.100	9.998 (International Tin Association)	1.500 3% EU-consumptie
	Producenten: China 29% Indonesië 24% Myanmar 17% Peru 6% Bolivië 6% Brazilië 5% Congo 3% Australië 3% Nigeria 2% Vietnam 2% Maleisië 1%	Leveranciers²²: Indonesië 33% België 18% Peru 10% Poland 7% Malaysia 6% Brazilië 5% Bolivia 5% China 3% Thailand 3% UK 2% Singapore 2% Rusland 1%	Leveranciers²²: Fase II (711 t geïmporteerd) Aruba 2% Bolivië 6% China 4% Estland 2% Frankrijk 14% Duitsland 40% Maleisië 6% Nederland 6% Peru 3% Polen 15%	

Tabel 19. Bismut vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 16).

Bismut (II ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status				
Consumptie (ton/jaar)		CRM - SRM 2.420	CRM - SRM	
Productie (ton/jaar)*	10.140		1.000 ³⁰	400 16,5% EU consumptie
	Producenten: China 69% Laos 9% Vietnam 8% België 4% Korea, South 4% Japan 2% Mexico 1% Kazachstan 1% Peru 1% Rusland 0% Bolivia 0% Canada 0%	Leveranciers²²: China 50% België 26% Thailand 9% Laos 5% Korea, South 5% Vietnam 3% Japan 2%	Leveranciers²²: Fase II (1041 t) China 19% Frankrijk 5% Duitsland 2% Japan 2% Zuid-Korea 18% Laos 2% Mexico 1% Nederland 2% Thailand 39% Vietnam 11%	

³⁰ DERA / BGR, 2015. (2015). *Bismut – ein typisches Sondermetall*. Retrieved from https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/industrieworkshop_bismut_vortrag_Elsner.pdf

Tabel 20. Indium vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 16).

Indium (II ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status	CRM			
Consumptie (ton/jaar)	64			
Productie (ton/jaar)*	845 827 (factsheet 2020)		20 (2021) 50 (2019)	30-50 > 100% EU consumptie 5% wereld productie
	Producenten: China 50% Korea 26% Japan 8% Canada 8% France 4% China 50,3% Zuid-Korea 25,9% Japan 8,2% Canada 7,6% Frankrijk 3,6% België 2,4% Rusland 0,7% Peru 0,7% Duitsland 0,5% Brazilië 0,2%	Leveranciers ²² : Frankrijk 38% België 25% China 14% Taiwan 9% Duitsland 5% US 2% VK 2% Hong Kong 1%	Leveranciers ²² : China 90% VK 7% Canada 2% Duitsland 1%	

Tabel 21. Tellurium vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 16).

Tellurium (II) ²¹				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status		CRM	non-CRM	
Consumptie (ton/jaar)		206-507		
Productie (ton/jaar)*	540			150 30% van de EU-consumptie
	Producenten China 46% Zuid-Korea 24% Japan 6% Zweden 5% België 5% Rusland 4% Duitsland 4% Canada 2% VS 1% Finland 1%	Leveranciers ²² : Canada 27% België 18% Duitsland 16% Zweden 16% Filippijnen 9% Finland 4% Rusland 3% Bulgarije 2% Japan 1%	Leveranciers ²² : <i>Nederland 86%</i> ²² Canada 14%	

De vraag en aanbodcijfers in dit rapport zijn verzameld om een inzicht te bieden in de grootteorde van stromen. Verschillende oorzaken, zoals bronnen uit verschillende jaartallen, verouderde data, capaciteit versus werkelijke productie, etc., zorgen ervoor dat het aanbod en de vraag niet steeds overeenkomen. Ook is het uit de data niet duidelijk of het Vlaamse of Europese aanbod gebruikt wordt om de Europese vraag te bedienen of dat extra-EU handel hiertussen nog een rol speelt.

Gedeeltelijk zijn de handelsdata beschikbaar in zowel een monetaire eenheid als in volumes. Toch dienen in bepaalde gevallen handelsdata, welke uitgedrukt zijn in EUR of in US\$ als basis genomen. Daarna werden op basis van statisch vastgestelde prijzen van metalen per ton omrekeningen gemaakt naar vraag- en aanbodcijfers uitgedrukt in ton grondstof.

De handelsstatistieken beschrijven bilaterale handelsstromen. Doorvoer, o.a. in havens zoals Rotterdam en Antwerpen, kan resulteren in een vertekend beeld van de handelscijfers van bepaalde grondstoffen en staat bekend als het Rotterdam effect. Hierdoor kunnen invoerlanden in handelsstatistieken niet eenduidig afgeleid worden.

Gezien het volatiel en speculatief karakter van de metaalprijzen en de, mogelijk, directe impact op de concurrentiepositie van het bedrijf in kwestie, publiceren bedrijven soms data in geaggregeerde vorm (op groepsniveau in plaats van op installatie niveau, als een som van verschillende producten die gelinkt zijn aan elkaar, als productiecapaciteit in plaats van geproduceerd volumes, etc.).

VITO heeft getracht deze cijfers te interpreteren en terug te brengen als een *productiecijfer* voor een bepaalde grondstof. Voor elk cijfer werd de databron weergegeven. In geval van een te hoge mate van onzekerheid, werd beslist om geen cijfers weer te geven.

Door de Europese, top-down berekende cijfers naast de Vlaams bottom-up cijfers te leggen, komen we soms tot eigenaardige vaststellingen. Zo blijkt de productie van indium door Umicore Hoboken vele malen de Europese vraag te overstijgen, maar is Vlaanderen/België niet opgenomen als leverancier van indium in Europa. Vermoedelijk wordt dit dan als een verder afgewerkt product verkocht, en valt dit zo buiten de productnomenclatuur die geselecteerd werd voor de invoer te bepalen.

De JRC-foresight studie omvat geen inschatting over het verbruik antimoon, bismut, indium of tellurium.

3.2.4.3 Impact beleid op de productie-eenheden

Momenteel bekijkt de EU, onder leiding van ECHA (European Chemicals Agency), het verbod op gebruik van lood in hagel, kogels voor niet militaire toepassingen en visgerei. Dit verbod moet verhinderen dat jaarlijks 44.000 ton lood in het milieu terecht komt (ECHA, 2023). Uit de impactstudie uitgevoerd door de EU staff (European Commission, 2023a) blijkt dat de loodindustrie en het gebruik van lood voor industriële toepassingen niet onder de ban valt. De commissie treedt momenteel wel op om bescherming van werknemers te verbeteren met nieuwe blootstellingslimieten voor lood.

3.2.5 Productie van zink en germanium

In Vlaanderen produceren Nyrstar (Balen en Pelt) en Rezinal zink. Nyrstar start hiervoor vanuit primaire en secundaire inputstromen. Als primaire inputstromen worden zinkhoudende ertsen gebruikt welke ook ijzer, cadmium, germanium, indium, e.d. kunnen bevatten (Figuur 29). Tabel 22 geeft een overzicht van de secundaire inputstromen.

De geassocieerde productie van cadmium wordt niet besproken. Cadmium wordt niet beschouwd als een kritiek metaal.

Daarnaast produceert Rezinal ruwzink vertrekkende vanuit zinkassen (zinkoxides) die vooral afkomstig zijn van verzinkerijen, maar ook schroot van zink.

Tabel 22. Secundaire inputstromen voor de productie van zink (Cusano et al., 2017).

EAF stof van de staalindustrie
Stof van de koper productie en koperlegeringen productie
Slakken van koper en lood productie
Reststromen van de spuitgieterijen
Bodemassen en drosses van de galvanisatie industrie
Oude dakbedekkingen en ander zinkhoudend plaatmateriaal
Non-ferro shredderfractie van voertuigen
Reststromen van het chemische gebruik van zink
Assen van het verbranden van banden – Nie van toepassing in Vlaanderen

	Goud	100 (UMICORE, 2023a)	
	Platina	25 (UMICORE, 2023a)	
	Palladium	25 (UMICORE, 2023a)	
	Rhodium	5 (UMICORE, 2023a)	
	Iridium	45*	
	Ruthenium		
	Osmium		
Aurubis - Beerse	Installatie in opbouw	https://www.aurubis.com	

* Umicore rapporteert een productie van 100 ton PGM (Zuber et al., 2004) waarvan 25 ton platina, 25 ton palladium en 5 ton rhodium. Op basis hiervan gaat VITO uit van 45 ton voor de som van iridium, ruthenium en osmium (hoewel dit met de nodige voorzichtigheid moet worden genomen).

3.2.7.2 Impact van de Vlaamse sector ten opzichte van de Europese en wereld markt

De Vlaamse edelmetalenindustrie produceert ongeveer 2.400 ton³² zilver (12% EU-consumptie, Tabel 31); 100 ton goud (meer dan 100% EU-consumptie - Tabel 32); 25 ton platina (35% van de EU-consumptie - Tabel 33); 25 ton palladium (meer dan 100% van de EU-consumptie - Tabel 34), 5 ton rodium (Tabel 35) en ongeveer 45 ton iridium, ruthenium en osmium (meer dan 100% van de EU-consumptie - Tabel 36). Vlaanderen is daarmee één van de belangrijkste PGM-producenten van Europa. Toch staat België zelden vermeld bij de invoerlanden bij EU. Dit komt doordat het materiaal eerst verwerkt wordt tot bijvoorbeeld een halffabricaat. De productie van deze kritieke metalen is enkel mogelijk dankzij de productie van lood, koper en zink en de grote capaciteit van de installatie (om de kritieke massa voor bepaalde sporenmaterialen te bereiken).

Uit de JRC-forecaststudie, welke zich richt op de 5 topsectoren voor de energietransitie, blijkt dat de vraag naar PGM zal toenemen. Op basis van deze cijfers heeft VITO een berekening uitgevoerd in welke mate de productiecapaciteit in Vlaanderen dient te stijgen om zijn marktaandeel in de Europese productie te blijven behouden (cijfers en zie bijlage 1). Voor de **producenten van edelmetalen zal een verhoging van de productie nodig zijn van 4% tot 76%** afhankelijk van het scenario (hoge vraag versus lage vraag en de tijdshorizon: 2030 of 2050). Deze capaciteitsverhoging gaat ervan uit dat er enkel een stijging is van de vraag naar platina groep metalen vanuit de 5 door JRC aangeduide sectoren. Er werd geen rekening gehouden met stijgende of dalende vraag uit andere sectoren. Aurubis heeft intussen geanticipeerd op deze stijgende vraag en bouwt een nieuwe installatie in Beerse welke operationeel zal zijn in 2024 of 2025.

Tabel 31. Zilver vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 30).

Zilver (I ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status				
Consumptie (ton/jaar)		19.514		
Productie (ton/jaar)*	27.476			2.400 12% van de EU consumptie
	Producenten: Mexico 24%	Leveranciers ²² : Sweden 20%	Volgens de handelsdata uit	

³² Cijfer 2014

Tabel 34. Palladium vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 30).

Palladium (II ²¹)				
Wereld		EU	België	Vlaanderen
Status		CRM/SRM	CRM/SRM	
Consumptie (ton/jaar)		20 68,3 (2018)		
Productie (ton/jaar)*	213			25 100% van de EU-consumptie
	Producenten: Rusland 40% Zuid-Afrika 36% Canada 10% VS 7% Zimbabwe 6%	Leveranciers ²² : VS 29,7% Rusland 28,9% VK 21,8% Zuid-Afrika 10,6% Zwitserland 5,9%	Leveranciers ²² : Zwitserland 53% Nederland 6% Italië 1% Duitsland 40%	

Tabel 35. Rhodium vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 30).

Rhodium (II ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status		CRM/SRM	CRM/SRM	
Consumptie (ton/jaar)				
Productie (ton/jaar)*	23			5 22% van wereldproductie
	Producenten: Zuid-Afrika 81% Rusland 10% Zimbabwe 6%	Leveranciers ²² : Zuid-Afrika 36,6% VK 27,4% Rusland 13,4% VS 11% Mexico 10%	Leveranciers ²² : Duitsland 92% VK 7%	

Tabel 36. Iridium, ruthenium en osmium vraag en aanbod in ton, cijfers Wereld en EU gemiddelde periode 2016 – 2020 op productieniveau (Screen, 2023), cijfers Vlaanderen (Tabel 30).

Iridium, ruthenium en osmium (II ²¹)				
	Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status		CRM/SRM	CRM/SRM	
Consumptie (ton/jaar)		17,25		
Productie (ton/jaar)*	35,1			45 100% van de EU-consumptie en 100% van de wereldproductie
	Producenten: Zuid-Afrika 93,5%	Leveranciers ²² : Zuid-Afrika 31,4%	Leveranciers ²² : Zwitserland 48%	

Tabel 37. Productievolumen germanium, gallium, arseen

Bedrijf	Producten	Productievolumes ton/jaar	Website
Umicore Olen	Germanium		www.umicore.be/nl/
Umicore Hoboken	Gallium als trimethylgallium		
Umicore Olen	Arseen	744 ton (Zuber et al., 2004).	

Uit verschillende bronnen blijkt dat Umicore een **belangrijke leverancier is van gallium en germanium**. Omdat er geen productiecijfers gepubliceerd worden is het moeilijk het juist belang van de sector in Europa in te schatten. Daarnaast wordt in Vlaanderen ongeveer 1.000 ton **arseen** geproduceerd wat overeenkomt met **59%** (European Commission, 2023b) **tot 79% van de Europese consumptie**.

Germanium (II ²¹)				
Wereld		EU	België	Vlaanderen
Status		CRM – SRM	CRM - SRM	
Consumptie (ton/jaar)		38,7 - 48		
Productie (ton/jaar)*	103			
	Producenten: China 90% Rusland 5% Japan 2% VS 2% Oekraïne 1%	Leveranciers ²² : China 69% VS 10% Rusland 9% Hong Kong 5% VK 4%	Leveranciers ²² : China 53% VK 3% Nederland 1% Duitsland 12% Frankrijk 31%	

Gallium (II ²¹)			
Wereld	EU	België	Vlaanderen
Status	CRM - SRM	CRM - SRM	

3.2.10 Legeringen en de inzet van kritieke grondstoffen

Tijdens de productie van basismetalen worden legeringselementen toegevoegd om de eigenschappen van het basismetaal te wijzigen (zie ook paragraaf 3.1.3.2). De legeringselementen worden apart of als voorlegeringen (zijnde een mengsel van verschillende legeringselementen) toegevoegd.

De bedrijven in Vlaanderen die legeringselementen of voorlegeringen maken, zijn:

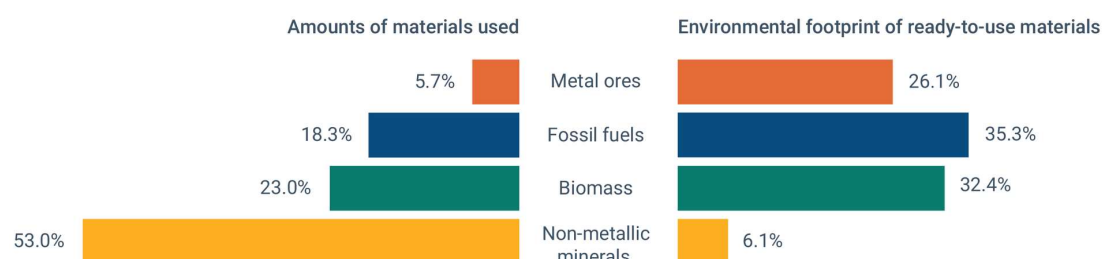
- De Craene (Kruisem) produceert zinkbaren en zinklegeringen.
- KBM Affilips (Tienen) produceert legeringen en voorlegeringen op basis van Al, Cu, Ni, Fe, Zn en Pb en gebruiken daarvoor o.a. volgende legeringselementen: As, Cr, V, Ti, B, Ca, Be, Mn, Zr, Mg, Li, P, Nb, Mo en Se.
- Lamifil (Hemiksem) produceert koper- en aluminiumlegeringen.
- Molymet (Gent) produceert molybdeen.
- Reazn Belgium (Kruisem) produceert zinklegeringen op basis van gerecycleerd zink.

Tabel 41. Overzichtstabel producenten legeringselementen of voorlegeringen.

De Craene	Kruisem	www.decraene.com/nl/home
KBM Affilips	Tienen	www.kbmaffilips.com/
Lamifil	Hemiksem	lamifil.be/
Molymet	Gent	www.molymetbelgium.be/
Reazn	Kruisem	www.reazn.com/

3.2.11 Milieu-impacten van primaire en secundaire productie van kritieke metalen en materialen

De milieu-impact van het gebruik van materialen is ingeschat in opdracht van het Europees Milieuagentschap. Binnen het European Topic Center on Circular Economy (ETC-CE) werd de vergelijking gemaakt tussen de samenstellingen van de indicator domestic material consumption uitgedrukt in kilogrammen en de samenstellingen van de milieu-impact die gepaard gaat met de ontginning en productie van de grondstoffen. De indeling is gemaakt in materiaalcategorieën: biomassa, niet-metallische mineralen, metalen en fossiele energiedragers. Belangrijkste conclusie van deze oefening (weergegeven in Figuur 33) is het verschil in prioriteit dat gelegd wordt vanuit beide perspectieven: uitgedrukt in kilogrammen ligt de nadruk op mineralen, terwijl dit vanuit de milieu-impact ligt op biomassa, metalen en fossiele energiedragers.



Figuur 33: Het volume en de milieu-voetafdruk van de geconsumeerde materialen in de EU27 (EEA, 2023).

Dit hoofdstuk (§ 3.2.11) gaat dieper in op de milieu-impact secundaire materialen, met een focus op kritieke grondstoffen. De milieu-impact van primaire materialen wordt niet beschreven, omdat dit rapport focust op grondstoffenstromen in Vlaanderen. Meer achtergrond over de milieu-impact van primaire materialen staat beschreven in o.a.:

- ETC-WMGE. (2020). *Environmental aspects related to the use of critical raw materials in priority sectors and value chains*. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/environmental-aspects-related-to-the-use-of-critical-raw-materials-in-priority-sectors-and-value-chains>. (ETC-WMGE, 2020)
- OECD. (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060 - Economic Drivers and Environmental Consequences*. <https://www.oecd.org/env/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452-en.htm>. (OECD, 2019)
- Gregoir, L. (2022). *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge*. <https://eurometaux.eu/media/jmxf2qm0/metals-for-clean-energy.pdf>. (Gregoir, 2022)
- UTS. (2019). *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy*. <https://earthworks.org/wp-content/uploads/2019/04/Responsible-minerals-sourcing-for-renewable-energy-MCEC-UTS-Earthworks-Report.pdf>. (UTS, 2019)

Vanuit een duurzaamheidsperspectief is belangrijk om onze economische groei zoveel mogelijk te ontkoppelen van ons grondstoffengebruik en de milieu-impacten die daarmee gepaard gaan. Zo kan het recyclen van grondstoffen de mogelijkheid bieden om tal van milieu- en sociale risico's die voortkomen uit de productie van nieuwe primaire grondstoffen te verminderen.

³³ Het International Energy Agency (IEA) publiceert ook rond de toekomstige vraag naar (kritieke) grondstoffen in de energietransitie. Onder andere hun World Energy Outlook en de Critical Minerals Data Explorer bevatten projecties op mondiaal niveau.

CO₂(eq)-uitstoot voor verwerking per afvalstroom door afvalverwerking- en recyclagesector (in kt)

Afvalstroom	CO ₂ (eq)-uitstoot (kt)	Percentage (%)
Metaalafval	2.030	30%
Papier- en kartonafval	541	8%
Organisch en biologisch afval	534	8%
Textielafval	55	1%
Glasafval	46	1%
Kunststofafval	434	6%
Versleten banden	0	0%
Puinafval	950	14%
Restafval	1.472	22%
SRF en RDF	764	11%
Totaal:	6.827	kt CO₂(eq)

Vermeden CO₂(eq)-uitstoot per afvalstroom doorheen waardeketen (in kt)

Afvalstroom	Vermeden CO ₂ (eq)-uitstoot (kt)	Percentage (%)
Metaalafval	-7.108	53%
Papier- en kartonafval	-472	4%
Organisch en biologisch afval	-1.242	9%
Textielafval	-695	5%
Glasafval	-273	2%
Kunststofafval	-646	5%
Versleten banden	0	0%
Puinafval	-1.089	8%
Restafval	-396	3%
SRF en RDF	-1.376	10%
Totaal:	-13.297	kt CO₂(eq)

Over de verschillende metaalindustrieën is er gemiddeld een CO₂-reductiepotentieel van 29-96% CO₂ per ton metaal mogelijk door het vervangen van primair metaal door secundair metaal (Figuur 35).



The chart displays the environmental impact of metal production across five categories: Production amounts, Climate change, Ecotoxicity impacts, Human toxicity, and Human health PM. The Y-axis represents the impact score, with 2000 as the base year (2000=1). The X-axis shows the years 2000, 2005, 2010, and 2015. The bars are stacked by metal type: Iron and Steel (dark red), Aluminium (purple), Copper (teal), Zinc, Lead, Tin and Nickel (green), and Gold, Platinum and Silver (yellow). The chart shows a general increase in environmental impact over time across all categories, with Iron and Steel being the most significant contributor in most categories.

Category	Year	Iron and Steel	Aluminium	Copper	Zinc, Lead, Tin and Nickel	Gold, Platinum and Silver
Production amounts	2000	0.9	0.05	0.05	0.0	0.0
	2005	1.25	0.05	0.05	0.0	0.0
	2010	1.6	0.05	0.05	0.0	0.0
	2015	1.8	0.1	0.05	0.0	0.0
Climate change	2000	0.75	0.1	0.05	0.0	0.05
	2005	1.0	0.2	0.05	0.0	0.05
	2010	1.25	0.4	0.05	0.0	0.05
	2015	1.4	0.5	0.05	0.0	0.05
Ecotoxicity impacts	2000	0.2	0.0	0.6	0.0	0.2
	2005	0.3	0.0	0.65	0.0	0.25
	2010	0.4	0.0	0.6	0.0	0.3
	2015	0.45	0.0	0.7	0.0	0.3
Human toxicity	2000	0.4	0.0	0.4	0.0	0.2
	2005	0.55	0.0	0.5	0.0	0.2
	2010	0.7	0.0	0.45	0.0	0.25
	2015	0.75	0.0	0.55	0.0	0.25
Human health PM	2000	0.65	0.1	0.05	0.0	0.0
	2005	0.9	0.2	0.05	0.0	0.0
	2010	1.2	0.3	0.05	0.0	0.0
	2015	1.35	0.35	0.05	0.0	0.0

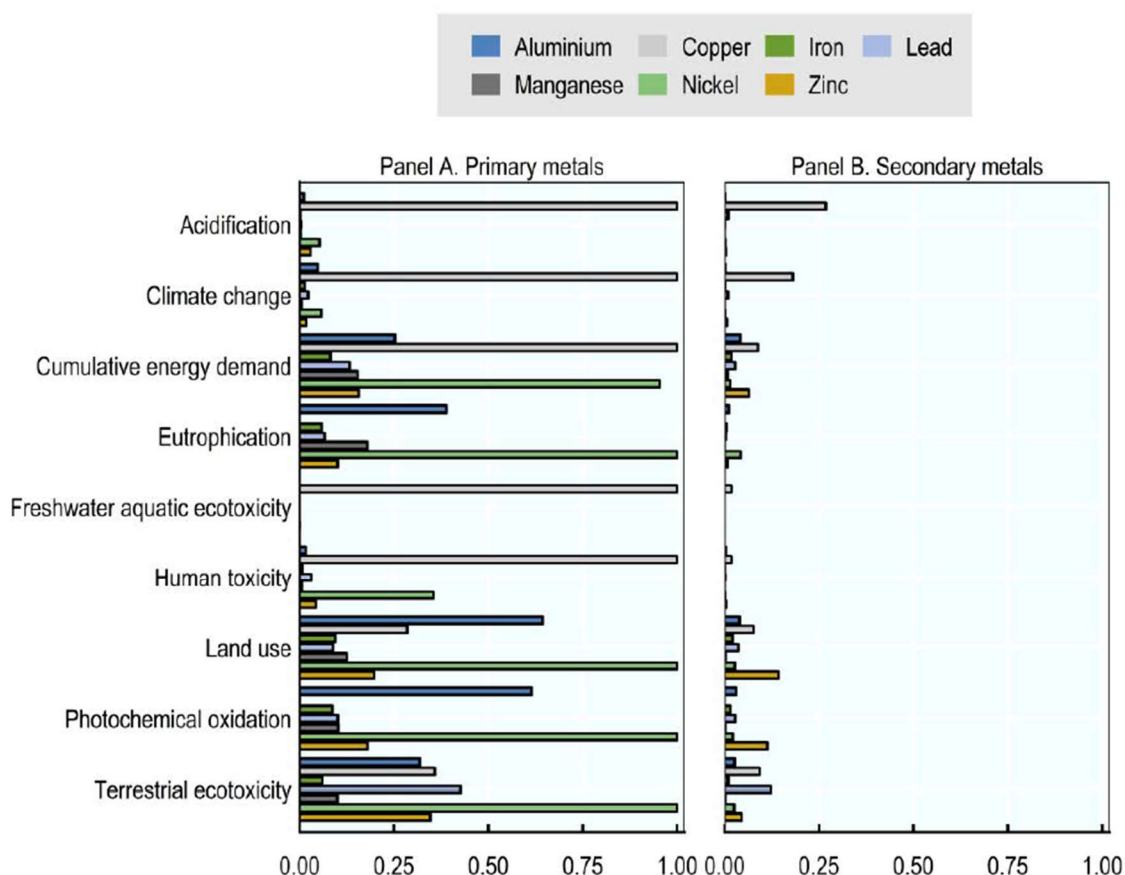
Data sources: BGS, USGS, ecoinvent 3.4, World Steel. Note that secondary aluminum was not included for the ecotoxicity score due to a mistake in ecoinvent 3.4.

Naast staal draagt de productie van aluminium in grote mate bij aan klimaatverandering, opnieuw vanwege grote productievolumes (Figuur 9) en hoge energievereisten voor de raffinage van bauxiet en het smelten van aluminium via elektrolyse (UNEP, 2019). De mondiale aluminiumproductie heeft een gemiddelde koolstofvoetafdruk van 18 ton CO₂ per ton aluminium. Op jaarbasis draagt de aluminiumindustrie het meest bij aan de CO₂-uitstoot onder de non-ferrometalen, gezien de hoge jaarlijkse productie (Gregoir, 2022). Volgens beide studies levert de productie van secundair aluminium een CO₂-reductie van 80% tot 96%.

Naast het potentieel voor het verminderen van CO₂-uitstoot kan secundaire metaalproductie ook bijdragen aan het verminderen van andere milieu-impacten. Zoals aangetoond voor ijzer, aluminium, koper, zink, lood, nikkel en mangaan in een studie van OESE³⁴, leiden de productie- en verwerkingsprocessen van secundaire metalen ook tot diverse milieueffecten, echter zijn deze over het algemeen een grootorde lager in vergelijking met hun primaire tegenhangers (Figuur 34) (OECD, 2019). Figuur 37 toont dat de impact van secundaire koperproductie een factor 4-60 kleiner is in vergelijking met primaire productie, en de impact van secundaire nikkelproductie is zelfs 25-300 keer kleiner dan de primaire productie. Sommige van de impacten van secundaire productie zijn echter niet verwaarloosbaar in vergelijking met primaire productie. Zo heeft secundaire zinkproductie een relatief hoog energieverbruik en dit draagt bij aan klimaatverandering: de waarden voor de secundaire zinkproductie zijn meer dan de helft van die van primaire productie. De impact op vlak van fotochemische oxidatie van secundaire lood- en zinkproductie is ook relatief hoog, ongeveer een derde van de waarde voor primaire productie (OECD, 2019).

pagina 89 van 134

Normalised index value (highest impact normalised to 1) of different environmental impacts for 2015



Figuur 37: Per kg genormaliseerde milieu-impacten van de primaire en secundaire productie van een selectie metalen. Bron: (OECD, 2019).

Over het algemeen wordt verwacht dat de milieueffecten per kilogram metaal in de loop van de tijd zullen afnemen. Figuur 38 laat zien dat dit het geval is voor veel grondstoffen. Deze verbeteringen zijn het gevolg van de optimalisatie van extractie en verwerkingstechnologieën, de ontwikkeling van minder vervuilende productieprocessen en de evolutie van de energiemix die wordt gebruikt. Een aanzienlijk deel van deze reductie is toe te schrijven aan de overgang naar een groter aandeel hernieuwbare energie in de elektriciteitsproductie, wat bijvoorbeeld de uitstoot van broeikasgassen gekoppeld aan het energieverbruik tijdens extractie en verwerking verlaagt. Echter zal door de dalende erts-concentraties meer energie nodig zijn om primaire grondstoffen te ontginnen. Dit zal o.a. het geval zijn voor de primaire productie van koper, lood, nikkel en zink. Voor secundaire productie wordt verwacht dat de milieu-impact per kilogram uitsluitend zal afnemen, mede omwille van technologische vooruitgang en de evolutie van de energiemix (OECD, 2019).

Naast het creëren van toegevoegde waarde en grondstofautonomie, kan het gebruik van secundaire kritieke grondstoffen voor de productie van batterijen aanzienlijke milieuwinsten opleveren. Het produceren van lithium-kobaltoxide-kathodes uit (pyrometallurgisch) gerecyclede grondstoffen kan de uitstoot van broeikasgassen met tot wel 75% verminderen in vergelijking met de productie uit primaire grondstoffen (Dunn et al., 2015). Bovendien zijn de zwaveldioxide-emissies van gerecyclede productie van lithium-kobaltoxide verwaarloosbaar in vergelijking met de primaire productie, vanwege het vermijden van de zwaveldioxide-intensieve smeltstap die nodig is voor de primaire kobaltproductie (Dunn et al., 2015). De belangrijkste stimulans voor de recyclage van LIBs is echter niet de recuperatie van lithium, maar eerder van kobalt en nikkel. De metalen zoals lithium en mangaan, tot nu toe beschouwd als minder waardevol, worden meestal niet teruggewonnen, maar eerder gedowncycled voor toepassingen met lagere waarde. Hoewel lithium en mangaan 'technisch recyclebaar' zijn, is het moeilijk om ze te scheiden van de andere metalen zonder het gebruik van dure organische reagentia voor extractie. Naarmate de vraag naar deze metalen stijgt, zal de economische motivatie voor recuperatie toenemen. Zo worden er reeds stappen ondernomen voor het ontwikkelen van efficiënte en economische lithium recyclingstromen. Met name in Europa zijn er verschillende opstartende projecten voor het terugwinnen van lithium naast kobalt en nikkel (bijvoorbeeld Umicore in België, Eramet in Frankrijk, BASF en Accurec in Duitsland, Northvolt in Zweden). Echter zijn er op Europees niveau acties nodig om er, onder andere, om ervoor te zorgen dat afgedankte elektrische voertuigen naar formele recyclingkanalen worden geleid (Gregoir, 2022) aangezien vandaag bijna een derde van de afgedankte conventionele voertuigen wordt geëxporteerd.

3.3 MAAKINDUSTRIE

- Winning en productie van grondstoffen
- Productie van onderdelen of componenten
- Assemblage van onderdelen tot eindproducten

De lijst bevat geen kennisleveranciers (studiebureaus) die ondersteuning bieden voor de productie noch onderhoudsbedrijven of handelaars. We vermelden wel Vlaamse (of Belgische) bedrijven die in Vlaanderen onderzoek of ontwikkeling uitvoeren, maar waarvan de productie elders gebeurt.

Omwille van de grote diversiteit binnen de maakindustrie wordt binnen deze studie enkel gefocust op de sleuteltechnologieën en topsectoren (zie Figuur 4) waarvan productieactiviteiten aanwezig zijn binnen Vlaanderen. Deze zijn:

- Li-ion batterijen
- Brandstofcellen
- Electrolyser voor waterstof/ waterstofmotoren
- Tractiemotoren
- Warmtepompen
- Hydrogen direct reduction iron arc furnaces
- Datatransmissiekabels
- Robots
- Satellieten, ruimtevaartuigen en defensie
- E-mobiliteit
- ICT-sector (inclusief semi-conductoren)

Door te focussen op de CRMA en zijn aanpak wordt slechts een deel van de Vlaamse waardeketen in kaart gebracht. Het budget en tijdsbestek van deze studie liet niet toe om een volledig beeld van Vlaanderen op te maken. Voorbeelden hiervan zijn:

- De bouwsector met hoge verbruiken van staal, aluminium, koper, zink en lood.
- De machinebouw, die toestellen maken voor bv voedingsindustrie en de chemische industrie, maar ook consumentengoederen; zij gebruiken substantiële hoeveelheden roestvrijstaal, maar ook koper, aluminium, zink e.d.
- De chemische sector: in hun installaties zijn grotendeels opgebouwd uit staal en roestvrijstaal. In hun katalysatoren worden verschillende CRM gebruikt.
- De verpakkingsindustrie gebruik van aluminium.

3.3.1 Productie Li-ion batterijen

De productie van Li-ion batterijen (LIBs) is nodig om over te gaan naar een koolstofarme economie. Figuur 39 geeft een overzicht van de componenten voor de productie van de LIBs. De grondstoffen die het meest kritiek zijn voor de productie van de batterijen zijn kobalt, lithium en grafiet. Daarnaast zijn ook nog fluoriet, niobium, fosfor en silicium metaal nodig.

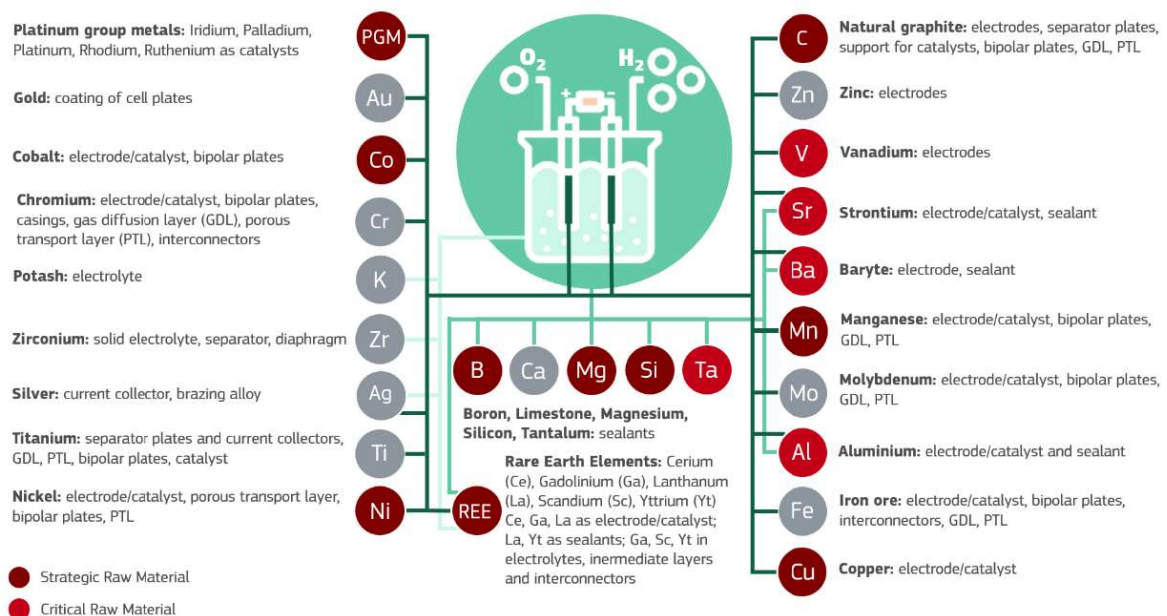
Bij de elektrolyse toestellen onderscheiden we twee soorten:

- Lage temperatuur toestellen die werken met vloeistoffen
- Hoge temperatuur toestellen die werken met een vast oxide.

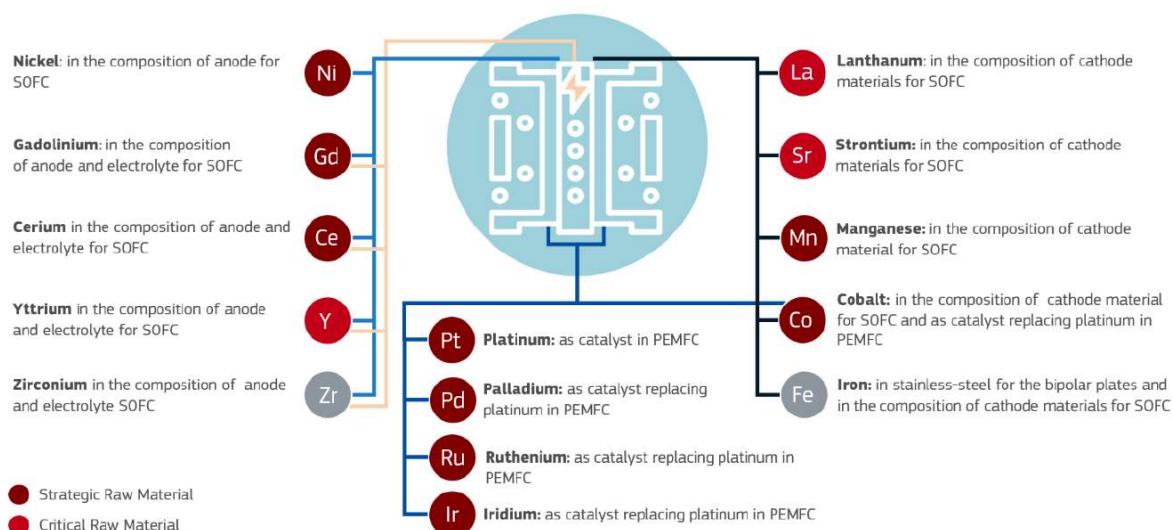
Er zijn verschillende types van brandstofcellen. Afhankelijk van het type zijn andere onderdelen nodig:

- Membraan electrode
- Bipolair platen
- Graphene nanoplaten, behandeld met polytetrafluorethyleen (PTFE – gekend onder de merknaam Teflon)
- Platina - katalystoren

Figuur 40 en Figuur 41 tonen de belangrijkste onderdelen en kritieke grondstoffen die nodig zijn voor de productie van de elektrolyse toestellen en brandstofcellen.



Figuur 40. Selectie van de grondstoffen die nodig zijn voor de productie van electrolyzers en hun functie (Carrara et al., 2023).



Figuur 41. Selectie van de grondstoffen die nodig zijn voor de productie van brandstofcellen en hun functie (Carrara et al., 2023).

3.3.2.1 Productie in Vlaanderen

Ruwe grondstoffen en materialen

In Vlaanderen worden enkele van de basisgrondstoffen voor elektrolyse toestellen (zie Figuur 40) en brandstofcellen (zie Figuur 41) geproduceerd. Zo produceert Umicore PGMs, goud, kobalt, zilver, nikkel en koper. Zink wordt geproduceerd bij Nyrstar, koper bij Aurubis en roestvrijstaal bij Aperam (zie paragraaf 3.2).

Molybdeen is geen kritieke grondstof. Het wordt in Vlaanderen geproduceerd bij Molymet in Gent, maar het zij zijn geen toeleverancier van onderdelen van deze technologieën.

Componenten

De productiebedrijven en gebruikers van waterstoftechnologie zijn terug te vinden op het portaal van waterstofnet (waterstofnet.eu). Dit initiatief verenigt bedrijven uit Vlaanderen (Waterstof Industrie Cluster), Wallonië en Nederland. Hieronder sommen we enkel de bedrijven op die (onderdelen voor) elektrolysetoestellen of brandstofcellen produceren in Vlaanderen:

- Agfa zal in Mortsel een productielijn bouwen voor de productie van membranen voor de productie van waterstof (Agfa, 2023).
- Atlas Copco (Wilrijk) produceert toestellen voor waterstofcompressie.
- Bekaert produceert poreuze transportlagen voor elektrolysetechnologieën in Wetteren. Recent (April 2023) werd aangekondigd dat de productiecapaciteit zal verdubbeld worden (Bekaert, 2023).
- Borit, gevestigd in Geel, produceert bipolair platen voor brandstofcellen en elektrolyse toestellen. Zij gebruiken hiervoor verschillende metalen waaronder roestvrijstaal, nikkel, titanium, aluminium in hun toepassingen (borit, 2023).
- Plastic Omnium (Herentals) produceert tanks voor de opslag van waterstof.
- Solvay produceert polymeren en onderdelen voor de productie van elektrolyse toestellen (Solvay, 2023).
- Umicore België, produceert katalysatoren op basis van verschillende CRM voor brandstofcellen.

Assemblage

BeHydro is een joint-venture van Anglo Belgian Corporation (ABC), gevestigd in Gent en Compagnie Maritime Belge (CMB). Zij hebben een single fuel waterstof motor ontwikkeld en produceren deze in Gent.

Exion, is een producent van elektrolyse toestellen. Het is een Belgisch-Pools bedrijf, met R&D afdeling in Turnhout en productiesites in Polen.

Hydrogenics is producent van waterstoftoepassingen en produceert brandstofcellen in Westerlo. Ze maken deel uit van de Amerikaanse groep Cummins. In Westerlo werd de productie in 2022 verdubbeld. Hun Europees verdeelcentrum ligt in Rumst, het Belgisch hoofdkwartier ligt in Mechelen (Van Nieuwenhuysen, 2022).

Waterstofnet is een netwerkorganisatie en kenniscentrum dat bedrijven en projecten m.b.t. waterstof bundelt in de BeNeLux (waterstofnet.eu).

3.3.2.2 Impact Vlaamse industrie

Vlaanderen heeft enkele producenten van brandstofmotoren en elektrolyse toestellen, daarnaast zijn er verschillende producenten van onderdelen voor deze toestellen, maar ook talrijke mogelijke gebruikers van deze technologie.

Het JRC-rapport (Carrara et al., 2023) stelt dat de EU extra inspanning dient te leveren door te investeringen in lokale productiefaciliteiten voor brandstofcellen en elektrolyse toestellen. Daarnaast dient er ook geïnvesteerd te worden in recycling faciliteiten voor PGMs. De recente investeringen van Bekaert, Hydrogenics en Aurubis (zie paragraaf 3.2) bieden hier een rechtstreeks antwoord op. Deze zorgen voor een uitbreiding van de bestaande infrastructuur bij de bovenvermelde bedrijven.

Het rapport raadt ook aan om te investeren in specifiek ontmantelingsinstallaties die herstel, hergebruik en efficiënt materialen gebruik toelaten. Dit onderdeel komt aan bod in paragraaf: 3.4

Zowel de Vlaamse overheid³⁷ als de Federale overheid³⁸ benadrukken het belang van waterstof in hun visiedocumenten. Daarbij willen de overheden België positioneren als een draaischijf voor de invoer en doorvoer van waterstof als energiedrager en Belgische bedrijven ondersteunen in hun leidersrol in waterstoftechnologieën.

3.3.3 Productie windturbines

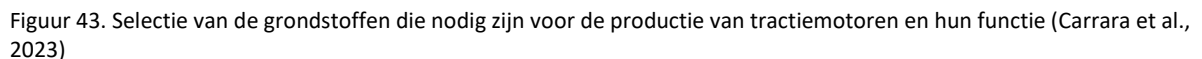
Figuur 42 geeft een overzicht van de onderdelen en grondstoffen die nodig zijn voor de productie van windturbines. Cruciale onderdelen zijn enerzijds de generator en anderzijds de turbinebladen. Er zijn verschillende types van generatoren welke uitvoering beschreven worden in Carrara et al. (Carrara et al., 2023). De meeste windturbines beschikken over een permanente magneet, welke opgebouwd is uit REE zoals dysprosium, neodymium, praseodymium en terbium. Voor de turbinebladen worden sterke lichtgewicht materialen gebruikt zoals glasvezel, carbonvezels, polymeren en kunststoffen. De bevatten minder CRM.

³⁷ <https://beslissingenvlaamseregering.vlaanderen.be/document-view/5FAD539C20B6670008000274>

³⁸ <https://economie.fgov.be/nl/themas/energie/energietransitie/belgische-federale>

3.3.4 Productie Tractiemotoren

Tractiemotoren bestaan uit een stator, een rotor, lagers en een behuizing. De belangrijkste grondstoffen van de rotor zijn REE zoals neodymium, praseodymium en dysprosium. Figuur 43 geeft een overzicht van de andere materialen en onderdelen.



Ruwe grondstoffen en materialen

Molybdeen is geen CRM. Het wordt in Vlaanderen geproduceerd bij Molymet in Gent.

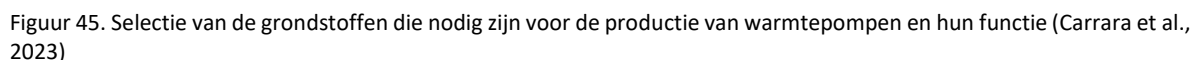
Punch Powertrain (Sint-Truiden - punchpowertrain.com) is een bedrijf dat aandrijvingen voor motoren en auto-onderdelen produceert.

Wittestein (Kalken) is een Belgisch bedrijf dat motordelen produceert.

Anglo Belgian Corporation (ABC), gevestigd in Gent, produceert naast dieselmotoren ook hybride motoren en generatorsets.

Het JRC-rapport (Carrara et al., 2023) stelt dat de EU extra inspanning dient te leveren door te investeren in lokale productiefaciliteiten voor PV-panelen. Enkele Vlaamse bedrijven investeren momenteel in nieuwe capaciteit.

Warmtepompen worden gebruikt om ruimtes te verwarmen of te koelen. Ze worden elektrisch aangedreven en maken gebruik van het temperatuurverschil tussen twee ruimten of media (lucht/lucht, water/lucht, water/water). Figuur 45 geeft een overzicht van de onderdelen en de gebruikte CRM en SRM.



In Vlaanderen worden volgende materialen geproduceerd: PGM en Ag (Umicore), staal en roestvrijstaal (Arcelor en Aperam), koper (Umicore en Aurubis). Molybdeen is geen CRM. Het wordt in Vlaanderen geproduceerd bij Molymet in Gent. Er is echter geen directe link met productie van componenten voor warmtepompen in Vlaanderen.

MAYEKAWA produceert o.a. warmtepompen in zijn vestiging in Zaventem.

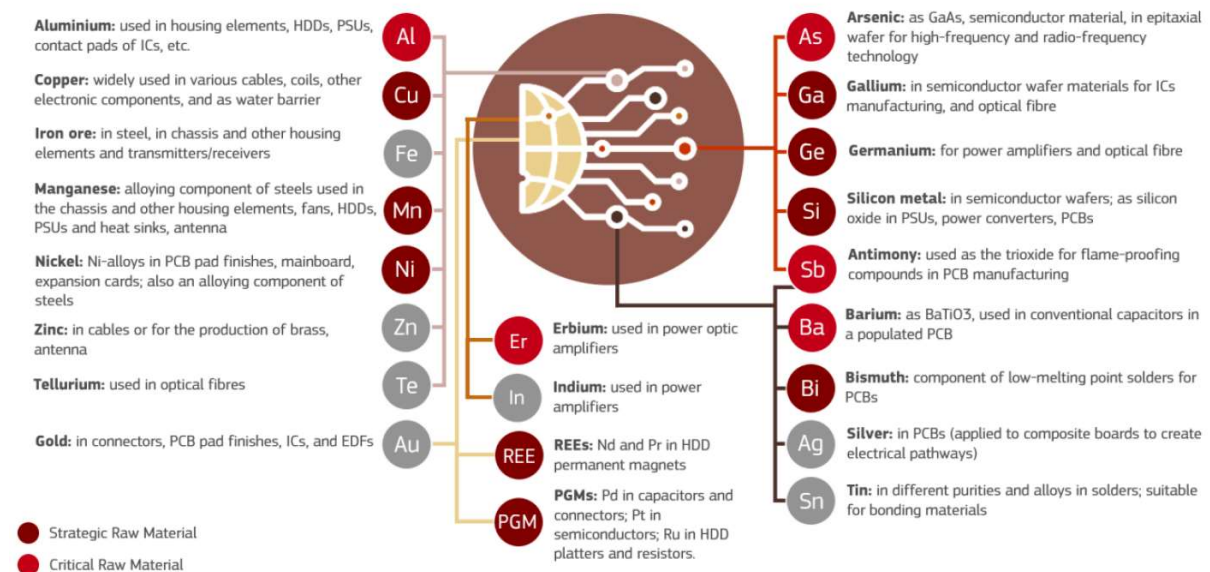
De Vlaamse Overheid zet in op het gebruik van warmtepompen voor particulieren en industrie. Zij doet dit via verschillende subsidieprogramma's. De productie van deze technologie in Vlaanderen is echter beperkt.

3.3.8 Productie datatransmissiekabels en dataopslag en servers

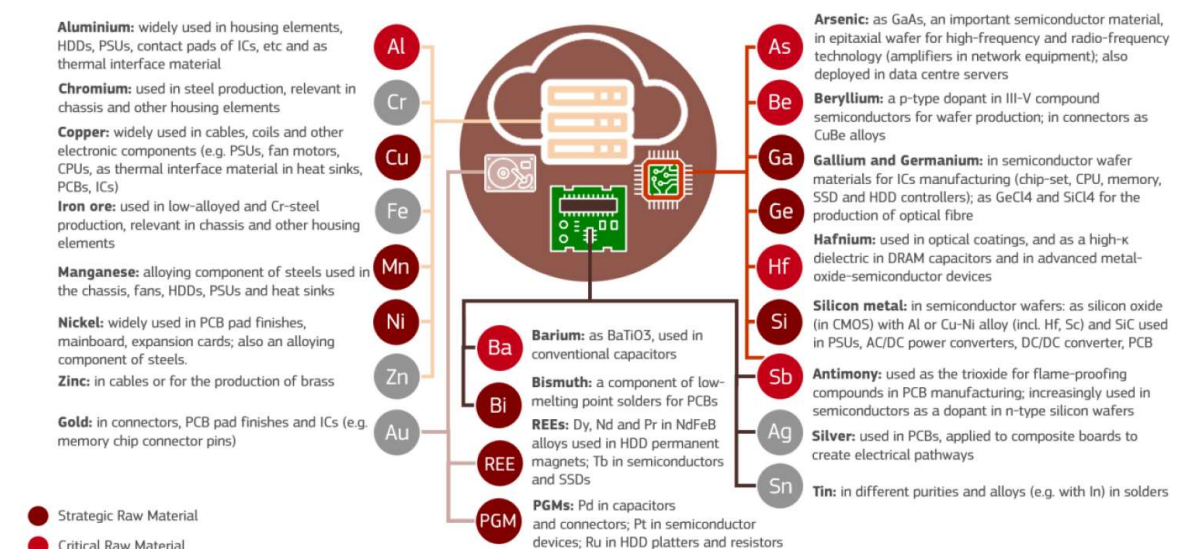
Om te voldoen aan de vraag naar digitalisatie is er nood aan datatransmissiekabels, dataopslag en servers.

Voor kabels geldt dat afhankelijk van het type van informatie dat doorgestuurd dient te worden andere materialen nodig zijn om ze te produceren. Figuur 47 geeft een overzicht van de materialen die hiervoor nodig zijn en wat de functie is van elk van deze materialen.

Figuur 48 geeft een overzicht van de grondstoffen die nodig zijn voor de productie van de verschillende onderdelen van dataopslag systemen en servers.



Figuur 47. Selectie van de grondstoffen die nodig zijn voor de productie van datatransmissiekabels en hun functie (Carrara et al., 2023)



Figuur 48. Selectie van de grondstoffen die nodig zijn voor de productie van dataopslag systemen en servers en hun functie (Carrara et al., 2023)

Ruwe grondstoffen en materialen

Andere basisgrondstoffen voor transmissiekabels die in Vlaanderen geproduceerd worden zijn koper (Umicore en Aurubis), nikkel, goud, zilver, PGM, arseen, gallium, germanium, bismut, tellurium en tin (Umicore). Antimoon wordt geproduceerd bij Campine en zink bij Nyrstar. Lamifil is actief in de productie van kabels uit aluminium en koper.

ACB (Dendermonde) producent van Printed Circuit Boards (PCBs).

BelGaN (Oudenaarde) produceert gallium-houdende semiconductors voor de automobieliindustrie.

Silicon Line is een Duits bedrijf en heeft in Hasselt een productielijn voor micro-optica's.

X-Fab (Tessenderlo) is een Belgisch bedrijf dat zijn productie heeft buiten België. Zij produceren o.a. halfgeleiders (wafers) en ontwerpen micro-chips voor hun klanten.

Umicore produceert germanium onderdelen voor data-transmissiekabels.

Barco (Kortrijk) produceert beeldschermtechnologie welke ze integreert in systemen voor controlekamers, vergaderzalen, operatiekwartieren, medische toepassingen, cinemazalen en life evenementen.

Het JRC-rapport (Carrara et al., 2023) stelt dat de EU extra inspanning voor R&D activiteiten moet leveren. Vlaanderen, dat met IMEC (Leuven) de meest toonaangevende onderzoeksinstelling rond chiptechnologie van Europa huisvest, draagt hieraan bij. Rond IMEC hebben zich tal van R&D afdelingen van genormeerde chip en computerproducenten gevestigd.

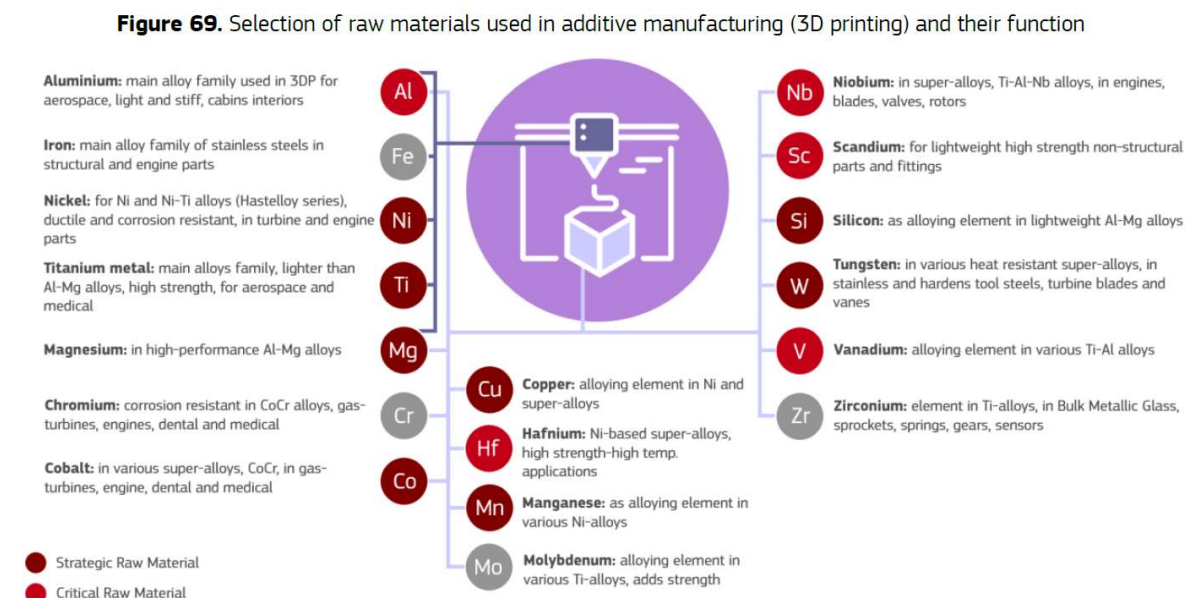
Ook dient Europa in te zetten op de productie van basismaterialen zoals o.a. koper, vlamvertragers en GaAs³⁹, waar de Vlaamse bedrijven hun steentje in bijdragen.

Dit staat in contrast tot de beperkte productie aan chiponderdelen in Vlaanderen, wetende dat de meeste kritieke grondstoffen die nodig zijn voor de productie wel in Vlaanderen voor handen zijn.

3.3.9 Gebruik additieve manufacturing technologie – 3D printing

3D-printing technologie wordt gebruikt om kleine oplages van onderdelen te produceren aan beperkte kosten. Daarnaast wordt de technologie ook gebruikt om defecte onderdelen te printen. De technologie wordt gebruikt in maakbedrijven in hun productieprocessen. De technologie wordt veelal gecombineerd met robottechnologie welke beschreven wordt in onderstaande paragraaf.

Figuur 49 geeft een overzicht van de grondstoffen die nodig zijn voor de 3D-print technologie.



Figuur 49: Selectie van de grondstoffen die nodig zijn voor 3D printing en hun functie (Carrara et al., 2023).

3.3.9.1 Productie in Vlaanderen

Flam3d is een onafhankelijk platform dat alle Vlaamse en Nederlandse belanghebbenden in de 3D-printing sector verenigt. Op basis van hun website werd een lijst van bedrijven samengesteld (Tabel 42)

Tabel 42: Vlaamse productiebedrijven actief in 3Dprinting.

Bedrijf	Locatie	Sector	Website
3D4All	Gent	3D printing– productie op maat van klant - kunststof	3d4all.be
3D Infinity	Maldegem	3D printing– productie op maat van klant – kunststof	3dinfinity.be

³⁹ Galliumarseen (GaAs) is een halfgeleidermateriaal dat verschillende toepassingen heeft, vooral in de elektronica.

3.4.2 Afgedankte elektrische en elektronische apparaten (AEEA)

De inzameling van huishoudelijk AEEA valt onder de verantwoordelijkheid van Recupel. Zij werken samen met verwerkers waarmee ze contracten afgesloten hebben voor de ophaling en verwerking van verschillende soorten AEEA (via containerparken en andere manieren die ontwikkeld werden). Daarnaast zijn er verwerkers die een charter met hen aangaan maar ook operatoren die op de markt AEEA inzamelen. Dit laatste zijn veelal de industriële professionele apparaten.

De afvalstromen worden ingezameld en door verwerkers (zie Tabel 45) ontmanteld en gesorteerd in diverse fracties:

- Ferro-metalen met onderscheid tussen
 - Staal
 - Roestvrijstaal
- Non-ferro-metalen, met mogelijk onderscheid tussen
 - Koper, indien mogelijk naar type materiaal: rood- en geelkoper, messing
 - Lood
 - Zink
 - Aluminium
- Kleinere onderdelen zoals printplaten die mogelijk PGM-metalen bevatten worden apart ontmanteld.

De stromen worden teruggebracht naar de verwerkers van de basismetalen zoals beschreven onder paragraaf 3.2.

Daarnaast ontstaan hierbij ook nog andere stromen, welke minder belangrijk zijn in het kader van de CRMA, zoals kunststoffen, textiel, rubber, hout e.d.

De meeste van de bedrijven die AEEA verwerken nemen daarnaast ook nog andere metaalrijke afvalstromen in, welke gezamenlijk verwerkt wordt. Specifiek voor dit type product bestaat er een Europese standaard die een kwaliteitsvolle verwerking moet verzekeren.

3.4.3 Afgedankte voertuigen

De organisatie in ons land die verantwoordelijk is voor de inzameling van afgedankte voertuigen is Febelauto. Verschillende verwerkers ontmantelen de wagens en sorteren de fracties die gerecycleerd worden uit de stromen beschreven onder paragraaf 3.4.2. De bedrijven worden weergegeven in Tabel 45.

Tabel 45. Vlaamse bedrijven die een van de bovenvermelde afvalstromen inzamelt, verwerkt of ontmantelt.

Bedrijf	Locatie	Afvalstroom	Website
Bebat	Tienen	Batterijen inzameling	bebat.be
Belgium scrap terminal	Willebroek	AEEA, productieafval, bouw- en sloopafval, voertuigen, schepen	belgianscrap.com/
	Beveren		
Febelauto	Brussel	Voertuigen inzameling	febelauto.be/
Galloo	Menen	AEEA, voertuigen, productie afval, schroot, bouw- en sloopafval	galloo.com
	Dendermonde		
	Gent		
	Roeselare		

	Brugge		
	Gavere		
	Koekelare		
	Gent	Schepen	
Indaver	Antwerpen	TL-buizen (naast verschillende andere afvalstromen)	indaver.com/
Mirec	Sint-Niklaas	Elektronica-afval	mirec.be
Recupel	Brussel	AEEA inzameling	recupel.be/nl/
Stevens recycling	Genk	AEEA, schroot, voertuigen	stevensrecycling.be
Sorbat	Tienen	Batterijen verwerking	sorbat.be

Andere belangrijke spelers zijn Comet Traitement in Wallonië en daarnaast de talrijke erkende bedrijven (door Febelauto) voor de ontmanteling van voertuigen.

3.4.4 Andere afvalstromen die belangrijk zijn in kader van de CRMA

3.4.4.1 Bodemassen van huisvuilverbranding

Bodemassen ontstaan wanneer huisvuil (of industrieel afval) verbrand wordt. Wat niet verbrand wordt en achterblijft in de oven noemen we bodemassen. Een groot deel van deze stroom is mineraal, maar ongeveer 7% tot 10% van deze bodemassen bestaat uit metalen. De bodemassen worden verder behandeld en verschillende metaalstromen worden gescheiden en teruggebracht naar de producten van de basismetalen zoals beschreven onder paragraaf 3.2.

In Vlaanderen zijn er twee bedrijven actief die bodemassen verwerken en metalen recupereren: Indaver (Antwerpen) en Veolia (Grimbergen en Gent).

3.4.4.2 Rubber

Rubber is momenteel nog niet gemarkeerd als CRM, toch vinden zowel Denuo als Esscencia dat deze grondstof extra aandacht verdiend.

In Vlaanderen zijn volgende bedrijven actief in de recyclage

- Rubber Recycling (Overpelt rubberrecycling.be)
- 3R Rubber (Dilsen-Stokkem- 3rrubber.com)

3.4.4.3 P-houdende afvalwaters

Fosfaathoudende afvalwaters kunnen een bron vormen voor fosfaatrecuperatie. Bronnen van fosfaat houdende zijn o.a.

- Voedingssectoren
 - o Aardappelen productie
 - o Groenteproductie
 - o Zuivel-productie
 - o Vleesverwerkende productie
- RWZI-waters
- Industriële sectoren
 - o Oppervlaktebehandeling van metalen
 - o Papierproductie

- Momenteel zijn er recuperatie installaties voor fosfaat bij aardappelverwerkers en werkt Aquafin aan installaties op RWZI-installaties. Daarbij wordt fosfaat onder vorm van struviet gerecupereerd. Struviet wordt daarna rechtstreeks ingezet als bodemverbeterend middel.

Bij Umicore worden verschillende metaalhoudende slibs van verschillende productieprocessen verwerkt tot metalen.

Ook JGI-Hydrometal (Wallonië) is hierin gespecialiseerd.

Metaalhoudende afvalwaters

Metalen die aanwezig zijn in afvalwaters worden veelal als pollutant beschouwd. Via fysico-chemisch reinigingstechnieken worden de aanwezige metalen geprecipiteerd en komen ze in het afvalwaterzuiveringsslib terecht.

Bij hoge concentraties van deze metalen kan het toch nuttig zijn om deze terug te winnen en opnieuw in te zetten in het productieproces. Een voorbeeld hiervan is de zink-terugwinningsinstallatie bij Janssen Pharmaceutica.

Context en uitdagingen

De dubbele groene en digitale transitie, de *twin transition*, en de verdere verankering en versterking van defensie en ruimtevaart gaan gepaard met de opkomst en de verdere uitbouw van zogenaamde strategische technologieën. De uitbouw van deze technologieën gaat gepaard met een toenemende vraag naar grondstoffen, in grote mate de kritieke en/of strategische grondstoffen. Bijvoorbeeld, een hernieuwbaar energiesysteem is veel meer afhankelijk van mineralen en metalen dan een energiesysteem op basis van fossiele grondstoffen. Strategische grondstoffen zijn de grondstoffen die het hoogste scoren wat betreft het strategisch belang, de geraamde toename van de vraag en de moeilijkheid van de verhoging van de productie. De lijst van kritieke grondstoffen bevat alle strategische grondstoffen, alsook andere grondstoffen die de drempelwaarden voor het economisch belang en het voorzieningsrisico halen of overschrijden.

De Europese lijst van kritieke grondstoffen vormt de basis voor onderstaand voorstel voor de Belgische lijst van kritieke grondstoffen (Tabel 46). Op basis van het economisch belang en het bevoorradingsrisico voor België vallen enkele grondstoffen weg uit de EU-lijst (uit Christis et al. 2024 waarin de beoordeling op Belgisch niveau is uitgevoerd). Toch merken we op dat omwille van de vrije circulatie van grondstoffen in de EU en de soms benodigde schaalgrootte van installaties, de Europese lijst ook voor Vlaanderen zeer relevant blijft. Daarom worden de elementen van de Europese lijst evenzeer toegevoegd (in het grijs). Er zijn geen aanpassingen gedaan om de Belgische lijst aan te passen naar Vlaanderen.

Kritieke grondstoffen België (incl. SRM's) (27)			
antimoon (I)	veldspaat (I)	LREEs (II) ¹	strontium (I)
arseen (II)	fluoriet (I)	magnesium (II)	wolfraam (II) ¹
bariet (I)	gallium (II) ¹	mangaan (I) ¹	tantaal (I)
aluminium/bauxiet (I) ¹	germanium (II) ¹	niobium (I)	titanium metaal (II) ¹
beryllium (I)	grafiet (I) ¹	PGMs (II) ¹	vanadium (I)
bismut (II) ¹	hafnium (II)	fosfaatgesteente (I)	koper (I) ¹
boor (I) ¹	helium (II)	fosfor (II)	nikkel voor batterijen (II) ¹
kobalt (I) ¹	HREEs (II) ¹	scandium (II)	
cokeskool (I)	lithium (III) ¹	silicium metaal (II) ¹	

Grondstoffen op de Europese lijst van kritieke grondstoffen, maar niet op de Belgische.

De Critical Raw Material Act

Als een gebundeld antwoord op bovenvermelde uitdagingen publiceerde de Europese Commissie op 16 maart 2023 een mededeling (COM(2023) 165 final) en een voorstel tot verordening (COM(2023) 160 final), de zogenaamde **Critical Raw Material Act** (CRMA). Op 12 december 2023 gaf het Parlement definitief groen licht voor de CRMA.

Na goedkeuring door de Raad zal de CRMA gepubliceerd worden en dit voorjaar 2024 in werking treden.

De CRMA omvat een reeks maatregelen om de toegang tot en de aanvoer van kritieke grondstoffen te waarborgen. De maatregelen beogen betrouwbaarheid, diversificatie, betaalbaarheid en duurzaamheid. Men steunt op de sterke punten en mogelijkheden van de eengemaakte markt en externe partnerschappen van de EU om de toeleveringsketens van kritieke grondstoffen in de EU te diversifiëren en veerkrachtiger te maken en men beoogt het verbeteren van de capaciteit van de EU over de volledige waardeketen, de diversificatie van de invoer van grondstoffen naar de EU, de verbetering van monitoring en risicobeheersingscapaciteit en van circulariteit en duurzaamheid. In de voorgestelde verordening worden benchmarks⁴¹ vastgesteld voor de interne capaciteit in de hele strategische toeleveringsketen voor grondstoffen (winning, verwerking én recyclage) en om de voorziening (invoer) van de EU in uiterlijk 2030 te diversifiëren in elk relevant stadium van verwerking.

De aanpak is opgebouwd rond drie pijlers: 1) versterking van alle stappen in de waardeketen voor kritieke grondstoffen in de EU, (2) de diversificatie van leveringsbronnen stimuleren en op wederzijds voordelige wijze partnerschappen aangaan, en (3) het bevorderen van de duurzame leveringsketens en circulariteit. Elk van deze pijlers wordt ondersteund door een reeks van acties. De algemene doelstelling is om de toegang van de EU tot een veilige en duurzame bevoorrading met kritieke grondstoffen te waarborgen.

Het Vlaamse industriële landschap

Vlaanderen heeft een uitgebreide historie in de metallurgie en speelt ook vandaag nog een belangrijke industriële rol. Deze studie (Hoofdstuk 3) geeft een inzicht van de grondstofstromen in Vlaanderen, met een focus op kritieke metalen en grondstoffen. De hierbij gevolgde structuur is een aanpak op basis van geïntegreerde waardeketens, omdat dit kort aansluit bij de werking van de industrie. De geïntegreerde waardeketens (zie Figuur 52) gaan uit van een circulair concept, dat zowel input van primair als secundair materiaal kent. Het uitgangspunt is om te vertrekken van de basismetalen en vervolgens de kritieke grondstoffen die gelinkt zijn aan de basismetalen 'toe te voegen'. Zonder lokale productie van basismetalen, vermindert ook de directe toegang tot kritieke grondstoffen. Bijvoorbeeld, de productie van germanium is gekoppeld aan zinkhoudende ertsen. Hieronder wordt een synthese van elke stap uit de waardeketen gegeven.

⁴¹ - Ten minste 10 % van het jaarlijkse verbruik van de EU van strategische grondstoffen is afkomstig van winning binnen de EU, voor zover de voorraden van de Unie dit toelaten;

- Ten minste 40 % van het jaarlijkse verbruik in de EU van strategische grondstoffen is afkomstig van verwerkingscapaciteit van de Unie;

- Ten minste 25 % van het jaarlijkse verbruik van de EU van strategische grondstoffen is afkomstig van recycling in de Unie;

- Niet meer dan 65 % van het jaarlijkse verbruik van elke strategische grondstof in de Unie in elk relevant stadium van verwerking is afkomstig uit één derde land (invoer).

De Raad en het Europees Parlement bereiken op 13 november 2023 een voorlopig politiek akkoord over de CRMA: aluminium en synthetisch grafiet worden (voor drie jaren) toegevoegd aan de lijst met strategische grondstoffen.

toeslagstoffen en actieve bestanddelen van katalysatoren opgenomen in de lijst (o.a. antimoon, arseen, boor, helium, magnesium, molybdeen, platina groep metalen, vanadium, etc.).

Productie en maakindustrie

De metalen, legeringen, mineralen en chemicaliën verkregen tijdens bovenstaande stap worden gebruikt in verschillende toepassingen en sectoren. In het kader van CRMA wordt voornamelijk gefocust op 15 technologieën die belangrijk zijn voor de digitale en energietransitie en voor ruimtevaart en defensie. (Carrara et al., 2023). Deze 15 technologieën worden verdeeld over vijf strategische sectoren: ruimtevaart en defensie, informatie- en communicatietechnologie (ICT), hernieuwbare energie, elektromobiliteit en industrie.

Omwille van de grote diversiteit binnen de maakindustrie wordt binnen deze studie enkel gefocust op de sleuteltechnologieën en topsectoren waarvan productieactiviteiten aanwezig zijn binnen Vlaanderen. Deze zijn:

- Li-ion batterijen
- Brandstofcellen
- Electrolyser voor waterstof/ waterstofmotoren
- Tractiemotoren
- Warmtepompen
- Hydrogen direct reduction iron arc furnaces
- Datatransmissiekabels
- Robots
- Satellieten, ruimtevaartuigen en defensie
- E-mobiliteit
- ICT-sector (inclusief semi-conductoren)

Gebruiksfasen

Tijdens de gebruiksfase zullen de verschillende toepassingen gebruikt worden. De levensduur van producten is sterk uiteenlopend: van kortstondig, eenmalig gebruik tot een levensduur van verschillende decennia. Hierna zal de gebruiker zich ontdoen van het product en zal deze in een afvalfase terecht komen. De gebruiksfase valt buiten de scope van deze studie.

Afvalfase, hergebruik en recyclage

Na het gebruik van producten komen de materialen in de afvalfase terecht. Afhankelijk van het product en het gebruik, zullen deze nog bepaalde grondstoffen, al dan niet in hoge concentratie bevatten. Omwille van diverse redenen (o.a. economische waarde, gezondheid en veiligheid, milieu en klimaat) zullen materialen maximaal teruggewonnen worden en minimaal verbrand of gestort worden. Omwille van de grote verscheidenheid van producten en type van gebruikers zijn er verschillende recyclageketens ontstaan.

In dit rapport worden aparte inzamelcircuits voor batterijen, elektrische apparaten en wagens (waarvoor verschillende terugnameplichten bestaan) besproken. Daarnaast worden enkele afvalstromen besproken die mogelijk kritieke grondstoffen bevatten zoals bodemassen van huisvuilverbranding, rubber, P-houdende afvalwaters en (industriële) metaalhoudende bijproducten, afvalstromen, slibs en afvalwaters.

Oplossingsrichtingen voor Vlaanderen

Strategieën voor het op een duurzame manier inperken van risico's ten gevolge van het verschil in vraag en aanbod zijn nodig. We bundelen mogelijke acties samen in vijf domeinen:

- Voor elk domein worden suggesties en aandachtspunten voor mogelijke beleidsacties of -prioriteiten hieronder weergegeven. Deze acties zijn het resultaat van een verkenningsoefening en bevatten input uit het literatuuronderzoek, de interacties met de opdrachtgever en de begeleidingsgroep en op basis van feedback van enkele bedrijven (Umicore, Nyrstar, Campine, Aperam, Aurubis en ArcelorMittal).

De dubbele groene en digitale transitie, de *twin transition*, en de verdere verankering en versterking van defensie en ruimtevaart gaan gepaard met de opkomst en de verdere uitbouw van zogenaamde strategische technologieën. De uitbouw van deze technologieën gaat gepaard met een toenemende vraag naar grondstoffen, in grote mate de kritieke grondstoffen. De grondstoffentransitie kan een antwoord bieden op de uitdagingen die gepaard gaan met deze dubbele transitie en de verankering en versterking van de Vlaamse en Europese defensie en ruimtevaart. Het is een transitie die zich in de kern afspeelt van een complexe en verweven industrie. Deze complexiteit komt voort uit een lange historie van de sector, de hoge mate van techniciteit en de complexe verwevenheid van materialen en processen, de brede diversiteit aan producten, producteigenschappen en toepassingen, de kapitaalintensieve investeringen en de diverse hoogtechnologische vaardigheden die door de energie-intensieve sector gevraagd worden.

De complexiteit zorgt er ook voor dat de voor- en nadelen van beleidsacties steeds vanuit een waardeketenperspectief dienen geanalyseerd te worden (o.a. via de regelgevingsimpactanalyse). Geïsoleerde beslissingen kunnen leiden tot lock-ins of suboptimale oplossingen. Bijvoorbeeld, de kritieke grondstoffen zijn steeds gekoppeld aan basismetalen, zowel bij primaire productie als bij recyclageroutes. Beslissingen die focussen op één materiaal kunnen gevolgen hebben binnen de

Steuemaatregelen, zowel op Vlaams als Europees niveau, gaan veel verder dan subsidiëringen. Voorbeelden zijn douanetarieven, oorsprong-regels, normalisatie, maar ook het maken van wetten en regels die het voor bedrijven makkelijker maakt om te investeren in duurzame innovatieve technologieën. Het oordeelkundig gebruik van deze middelen kan de betrokken industrieën stimuleren.

Exploratie duurzame lokale mijnbouw

Er is tot nog toe geen ontginning van kritieke grondstoffen in Vlaanderen. De CRMA legt een **exploratieprogramma** op met algemene (regionale) exploratie van kritieke grondstoffen, die maatregelen omvat zoals het in kaart brengen van mineralen, geochemische campagnes, geowetenschappelijke onderzoeken en het opmaken van voorspellingskaarten. Er wordt vijfjaarlijks een update voorzien. Voor het Vlaams exploratieprogramma dienen de nodige budgetten te worden voorzien.

Indien winning in de toekomst zou plaatsvinden in Vlaanderen, is (zoals bij andere activiteiten) aandacht nodig voor thema's zoals klimaat, milieu, veiligheid, ethiek, gezondheid, ruimte, wetgeving etc. Ook dient dezelfde aandacht gelden voor deze thema's bij de invoer van grondstoffen.

Ondersteunen lokale productie, verwerking en recyclage

Uit de synthese blijkt het belang van Vlaanderen in deze markt. Echter biedt dit geen garanties naar de toekomst toe. Als we niet willen dat het Vlaams aandeel gaat ‘eroderen’, dan dient het beleid te blijven inzetten **op het beschermen van bestaande capaciteit** (in tijden van crisis met hoge energiekosten, inflatie, en een toenemende loonkostkloof) **en het ondersteunen van nieuwe opportuniteiten** voor raffinaderijen van metalen. Hierbij staat centraal dat Vlaanderen belangrijke investeringen blijft aantrekken. Een mogelijkheid is om financiering voor grote projecten vanuit de EU te coördineren.

Kennisontwikkeling en -deling vormen ook vandaag nog een hinderpaal binnen het landschap, zowel tussen regio's/lidstaten, als tussen industriële sectoren onderling en tussen de industrie en de overheid. Het in lijn brengen van het aanbod en de vraag van (primaire en secundaire) grondstoffen en producten blijft een uitdaging. De onzekerheid over afzetmarkten is een voorbeeld van een hinderpaal. Het aanbod wordt mede gestuurd door technologische ontwikkelingen en investeringen, maar steunt ook op een stabiele toevoer primaire en secundaire grondstoffen enerzijds en op stabiele afzetmarkten anderzijds. Een ander voorbeeld is een gebrek aan kennis over de exacte vorm van een recyclaat dat het meest geschikt is voor een afzetmarkt. Als voorbeeld hiervan wordt tellurium aangehaald dat potentieel geconcentreerd kan worden uit afval, maar waarvoor het momenteel niet duidelijk is in welke vorm dit economisch het meeste kansen biedt op de afzetmarkt.

Bij elk beleidsinitiatief dienen **de circulaire waardeketens (in de EU) in zijn volledigheid bekeken te worden** om echt tot optimale besluitvorming te komen en suboptimale lock-ins te vermijden. Bijvoorbeeld, natriumantimonaat (Umicore) wordt integraal gebruikt in de productie van zonnepanelen in Azië. Een deel van deze Aziatische productie komt terug (als solar-glas) naar Europa. Bij afgedankte producten stuiten verwerkers op het probleem dat antimoon (sterk verdund) moeilijk te verwijderen is bij de recyclage van glas. Een selectieve inzameling zou een oplossing kunnen bieden, op voorwaarde dat er een economisch interessante afzetmarkt voor beschikbaar is. Het voorbeeld geeft de huidige fragmentatie van de markt weer en het gebrek aan kennis tussen de vraag en aanbod van grondstoffen.

Hierbij merken we op dat de productie van staal recentelijk gebeurt in vaak nieuwe installaties buiten de EU (o.a. in China) die soms veel strengere milieueisen voldoen dan in Europa⁴³. Vooral de nieuwe voorwaarden voor emissies naar de lucht zijn veel strenger dan deze in Europa. Zo worden in China producenten gedwongen om hun processen te elektrificeren. Doordat de faciliteiten veel recenter zijn, doen ze het ook een stuk beter op het vlak van energie-efficiëntie.

Specifiek wordt door Aperam gevraagd om ijzerhoudend schroot op te nemen als kritieke (secundaire) grondstof⁴⁴. De vraag naar ijzerhoudend schroot stijgt, aangezien het gebruik ervan de milieu impact van het staal vermindert (lagere CO2-voetafdruk, lager gebruik van legeringsmetalen zoals nikkel en chroom). Als gevolg van de schaarste is de extra-EU uitvoer nefast. Dit om o.a. verdere investeringen in schrootrecuperatie, -sortering en -recycling in Vlaanderen en de EU te stimuleren. Argumenten die deze vraag ondersteunen zijn dat ijzerhoudend schroot een essentiële grondstof in de overgang naar een koolstofarme staalindustrie is en dat het kritieke grondstoffen bevat waaronder nikkel (meestal 8%, en soms tot 30% voor bepaalde legeringen).

⁴³ Uit de communicatie met ArcelorMittal België.

pagina 125 van 134

staalproductie zijn geen kolen meer noodzakelijk en zal de metallische lading van de elektro-smeltoven bestaan uit schroot (60%) en ertsgebaseerde DRI/HBI (40%). Hierbij zijn de leveringen van groene stroom (of nucleair) en aardgas en/of waterstof van groot belang.

Een mogelijkheid om te zorgen dat het staalschroot binnen de EU blijft is via de EU Waste Shipment Regulation. Al wordt aangehaald dat ook binnen deze wetgeving nog verbeteringen mogelijk zijn, bijvoorbeeld het verder vereenvoudigen en versnellen van de procedure voor het intra-EU transport naar de vooraf goedgekeurde faciliteiten, onder andere voor nieuwe stromen zoals batterijen uit elektrische voertuigen. Specifiek voor autowrakken wordt het beperken van de uitvoer (bijvoorbeeld enkel nog uitvoer toelaten als voertuigen nog functioneel zijn) aangehaald. Ontmanteling en verwerking binnen de EU heeft als voordeel dat dit gebeurt volgens de hier geldende milieunormen. Bovendien zou het gunstig zijn om in de autowrakkenrichtlijn streefcijfers op te nemen voor gerecyclede inhoud voor roestvrij staal in auto's. De doelstelling kan zijn dat de secundaire grondstoffen naar de meest efficiënte recyclageroute geleid worden.

Vlaanderen en Europa staan reeds sterk in het selectief ophalen, sorteren en voorbereiden van afval. Het is dus logisch dat er **globale concurrentie is voor de interessantste Europese secundaire grondstoffen/afvalstromen**, bijvoorbeeld voor de 'black mass' van Li-ionbatterijen. In het Re2LiVe-project⁴⁵ wordt onderzocht hoe Vlaamse bedrijven de kansen kunnen grijpen in de groeiende markt van gebruikte lithium-ionbatterijen uit hybride en elektrische voertuigen. Indien we willen dat de lokale recyclage gestimuleerd wordt, dient de Vlaamse en bij uitbreiding de Europese 'urban mine' beschermd worden. Er wordt geen afscherming van grenzen gevraagd, maar het concept van uitvoer voor verwerking 'under equivalent conditions' dient verder uitgewerkt te worden. De nieuwe Waste Shipment Regulation hanteert dit principe nu. Toch dienen we er op te letten dat bepaalde afvalstromen niet buiten de regelgeving vallen, door ze als grondstof of product te beschouwen. Daar horen onder andere strenge standaarden bij rond milieubescherming en sociale bescherming. Handhaving wordt hierbij als cruciaal aangeduid.

De knelpunten voor inzameling, sorteren en verwerken van afval dienen blijvend te worden aangepakt. Dit houdt o.a. in dat op korte termijn de huidige capaciteit gevrijwaard wordt. Deze staat namelijk onder druk door o.a. hoge energieprijzen en beperkte mogelijkheden op de arbeidsmarkt. Recyclage gaat hand in hand met het versterken van onderzoek en ontwikkeling naar nieuwe recyclageprocessen (voor bijvoorbeeld batterijen, zonnepanelen en windmolens), betere inzameling en sortering, beter productdesign, betere digitale opvolging van stromen en beperken van uitvoer (buiten de EU) van afval, maar ook het opschalen van recyclagecapaciteit.

Ook moet blijvend erkend worden dat recyclageprocessen gepaard gaan met restproducten die (momenteel) niet verder gezuiverd kunnen worden en (momenteel) geen toepassing vinden (en dus gecontroleerd gestort dienen te worden).

Een verdere **inzet op gescheiden inzameling is belangrijk voor een betere sortering en een verhoging van de kwaliteit** (en bijgevolg een betere kwaliteit van het recyclaat). Een hogere kwaliteit van het recyclaat vergemakkelijkt het vinden van toepassingen binnen een Europese afzetmarkt. Bijvoorbeeld, het mengen van schroot van roestvrij staal in koolstofstaal leidt ertoe dat het chroom in het roestvrije schroot verloren gaat. Een betere sortering zorgt voor een hogere efficiëntie. Ook is het gemiddelde schroot enkel nog bruikbaar in de productie van koolstofstaal. Door het chroomgehalte zal deze mix ook de kwaliteit van koolstofstaal verminderen en ongewenste

⁴⁵ <https://re2live.be/>

Een aantal bedrijven benadrukt ook de **concurrentieverschillen** tussen Europese vestigingen en bedrijven elders in de wereld:

- Alle actoren in de verschillende stappen van de waardeketen kunnen blijvend inzetten op **onderzoek en ontwikkeling naar verbeterde materiaalefficiëntie , verminderde materiaalintensiteit en verbeterde circulariteit** bij het invullen van consumptiebehoeften door bijvoorbeeld in te zetten op levensduurverlenging en andere circulaire strategieën. Voorbeelden zijn een alternatieve invulling van behoeften, levensduurverlenging (bijvoorbeeld via een reparatieplicht), hergebruik, het tegengaan van verliezen, circulair productontwerp en standaardisering.

Tot slot vermelden we nog enkele beleidsacties die evenmin uit het oog mogen worden verloren:

- ## Monitoring en onderzoek en ontwikkeling

Tegelijkertijd kan onderzoek en innovatie in de hele waardeketen worden gestimuleerd. Bijvoorbeeld, via investeringen in innovatie en onderzoek om de ontwikkeling van duurzame alternatieve grondstoffen en productiemethoden op Vlaamse bodem te stimuleren, en verder om de mogelijke en/of verbeterde terugwinning van kritieke grondstoffen uit afval te onderzoeken. Ook kunnen de opties worden nagegaan of de toenemende vraag naar kritieke grondstoffen gedeeltelijk

kan worden gecompenseerd door meer aandacht te besteden aan het (in de mate van het mogelijke) reduceren of veranderen van de vraag en gedragsverandering.

Een aandachtspunt bij monitoring is confidentialiteit. Het is vaak onvoldoende om te werken met geaggregeerde gegevens (op Vlaams, Federaal of zelfs Europees niveau), omdat bepaalde grondstoffen slechts door een handvol spelers worden geproduceerd of verwerkt. Er moeten minstens drie (bij voorkeur meer) spelers (exact) hetzelfde materiaal produceren alvorens gegevens geaggregeerd kunnen worden, zonder de confidentialiteit te verliezen. Periodieke monitoring gaat dus gepaard met duidelijke doelstellingen over het gebruik, waarborgen voor confidentialiteit en IT-beveiliging en capaciteit.

Daarnaast zal binnen Vlaanderen gekeken worden naar het verderzetten en verder versterken van bestaande acties zoals onder andere het effectief en efficiënt recupereren van hoogwaardige en kwalitatieve grondstoffen uit (al dan niet ingevoerde) afvalstromen en urban mines, het inzetten op circulariteit en de efficiëntie van de grondstoffen tijdens gebruik en onderzoek naar alternatieven en substituten gebaseerd op niet-kritieke grondstoffen.

De zoektocht naar (niet-kritieke) substituten lijkt eerder een industriële uitdaging. Zodra men een materiaal door een ander vervangt kan dat de markt door elkaar schudden, waardoor het nieuwe kritiek wordt, en het vorige 'degradeert' tot niet-kritiek.

Een voorbeeld van kennisdeling zijn **(digitale) productpaspoorten** die als doel hebben om producten duurzamer, beter recycleerbaar en herbruikbaar te maken. Het digitale productpaspoort is momenteel al concreet in de regelgeving rond batterijen, waarbij het verplicht is dat alle grote batterijen over een unieke code beschikken die informatie bevat over de gebruikte materialen, het gebruik, ... om op het einde van de levensduur te bekijken of en hoe deze kan hergebruikt of gerecycleerd worden. Op basis van de ervaring binnen de sector lijkt het dat dit concept ook voor andere toepassingen een meerwaarde kan zijn.

Duurzaamheidsindicatoren kunnen een sturend mechanisme zijn. Een actiepoint is het **nagaan welke indicatoren over kritieke grondstoffen beleidsondersteunend kunnen zijn en hoe kritieke grondstoffen opgenomen zijn in de bestaande indicatorensets**. Wel dient er opgelet te worden dat duurzaamheidsindicatoren zorgvuldig gekozen en gedefinieerd worden. Zo is bijvoorbeeld ‘recycled content’ niet steeds wenselijk, omdat dat niet altijd een verdienste is van de producent. Het kan belangrijker zijn om in te grijpen in de collecteerbaarheid en recycleerbaarheid van producten. Deze ‘recycling efficiency’ heeft een totaal andere betekenis voor batterijen dan voor voertuigen en elektrische/elektronische apparaten.

Veel grote industriële installaties voor de productie en verwerking van mineralen en metalen, maar ook voor afvalbehandeling en -recyclage vallen onder het toepassingsgebied van de EU Richtlijn Industriële Emissies⁴⁶ (2010/75/EU - RIE). De precieze activiteiten met hun respectievelijke drempels, doorgaans op basis van productiecapaciteit, staan beschreven in [bijlage I](#) van deze RIE. De RIE bevat regels inzake geïntegreerde preventie en bescherming van verontreiniging door industriële activiteiten, en beoogt een hoog niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel. Dit om te vermijden dat afzonderlijke initiatieven ter bestrijding van emissies in de lucht, het water of de bodem ertoe leiden dat verontreiniging van het ene milieucompartiment naar het andere wordt overgeheveld. De milieuregels zijn gestoeld op Beste Beschikbare Technieken (BBT), en de

⁴⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32010L0075>

Diversifiëren en verduurzamen van de invoer

De CRMA wil de **diversificatie van leveringsbronnen** stimuleren. Hierbij wordt verwezen naar wederzijds voordelige partnerschappen ter ondersteuning van de mondiale productie van kritieke grondstoffen. Een breed scala aan instrumenten kan ondersteuning geven om handel, investeringen en samenwerking te vergemakkelijken en zo de voorzieningszekerheid en de betaalbaarheid van kritieke grondstoffen te vergroten.

5 REFERENCES

- Agfa. (2023, 08/03/2023). *Agfa investeert in nieuwe industriële unit voor Zirfon-membranen voor groene waterstofproductie* <https://www.agfa.com/corporate/news-item/agfa-investeert-in-nieuwe-industriële-unit-voor-zirfon-membranen-voor-groene-waterstofproductie/>
- Aluminum association. (2023a). *Industries*. Retrieved 08/08/2023 from <https://www.aluminum.org/industries>
- Aluminum association. (2023b). *Secondary Production is the process of recycling aluminum scrap into aluminum that can be used again—an environmentally sound process that is around 95% more energy efficient than primary production*. Retrieved 09/08/2023 from <https://www.aluminum.org/secondary-production-101>
- Aperam. (2023). *Sustainability Report 2022*. https://www.aperam.com/sites/default/files/documents/2022_AperamMadeforLifeReport_Main.pdf
- Arcelor Mittal Belgium. (2022). *Corporate Responsibility Report 2020-2021*. <https://sway.office.com/cRG4BxVNGUrKnUs6?ref=Link>
- Arnouts, J. (2022, 04/05/2022). *Vlaanderen blinkt uit in Europa op vlak van 3D-printing*. *Engineeringnet*. <https://engineeringnet.be/nl/nieuws/item/19849/vlaanderen-blinkt-uit-in-europa-op-vlak-van-3d-printing>
- Ashutosh, M. (2015). *Impact of silica mining on environment*. *Journal of Geography and Regional Planning*, 8(6), 150-156. <https://doi.org/10.5897/JGRP2015.0495>
- Aurubis. (2023a). *Empowering Tomorrow - Annual report 2022*. Aurubis. <https://www.aurubis.com/en/investor-relations/publications/annual-reports>
- Aurubis. (2023b). *Koperen kahtoden*. Retrieved 08/08/2023 from https://www.aurubis.com/olen/producten/koperen_kathoden
- Balkan Green Energy News. (2023). *Vulcan opens Europe's first fully domestic lithium production plant in Germany*. Retrieved November from <https://balkangreenenergynews.com/vulcan-opens-europes-first-fully-domestic-lithium-production-plant-in-germany/>
- Bekaert. (2023, 17/04/2023). *Bekaert breidt productie- en onderzoeks-capaciteit uit van electrolysetechnologieën voor groene waterstofproductie* <https://www.bekaert.com/content/dam/corporate/en/press-release-pdf/p230417N%20Bekaert%20breidt%20productie-%20en%20onderzoekscapaciteit%20uit%20van%20electrolysetechnologie%C3%ABn%20voor%20groene%20waterstofproductie.pdf>
- Belgium, A. M. (2021, 01/11/2021). *ArcelorMittal ondertekent intentieverklaring met de Belgische en Vlaamse regering ter ondersteuning van een investering van 1,1 miljard euro in decarbonisatietechnologieën in de toonaangevende vestiging in Gent*. <https://belgium.arcelormittal.com/arcelormittal-ondertekent-intentieverklaring-met-de-belgische-en-vlaamse-regering-ter-ondersteuning-van-een-investering-van-11-miljard-euro-in-decarbonisatietechnologieën-in-de-toonaangevende-vestigi/>
- Bhutada, G. (2022). *All the Metals We Mined in 2021: Visualized*. <https://www.visualcapitalist.com/all-the-metals-we-mined-in-2021-visualized/>
- borit. (2023). *Fuel cells & electrolyzers*. Retrieved 01/09/2023 from <https://www.borit.be/offerings/fuel-cell-electrolyzers>
- Bosmans, W. (2022). *Achter de schermen bij Alvalance in Duffel: “200.000 ton aluminium per jaar”*. *made-in*. <https://www.made-in.be/mechelen/achter-de-schermen-bij-alvalance-in-duffel-200-000-ton-aluminium-per-jaar/>
- Campine. (2023). *De sprong voorwaarts van 2022* <https://www.campine.com/wp-content/uploads/2023/03/23-03-13-jaar-22.pdf>

- Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P. C., A. Georgitzikis, K. Grohol, M., Itul, A., Kuzov, T., Latunussa, C., Lyons, L., Malano, G., Maury, T., Prior Arce, A., Somers, J., Telsnig, T., Veeh, C., Wittmer, D., Black, C. P., D., & Christou, M. (2023). *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*. JRC. <https://doi.org/10.2760/334074>
- ccimag. (2020). HYDRO EXTRUSION LICHTERVELDE : alu vert et durable ! ccimag. <https://www.ccimag.be/2020/04/07/hydro-extrusion-lichtervelde-alu-vert-durable/>
- Cefic. (2023). *The European Chemical industry, Facts and Figures 2023, A vital part of Europe's Future*. <https://cefic.org/app/uploads/2023/03/2023-Facts-and-Figures.pdf>
- Christis, D., Nelen, Vercalsteren, Carême, Orsini. (2024). *Identification of the critical materials for Belgium*.
- Ciacchi, L., Reck, B. K., Nassar, N. T., & Graedel, T. E. (2015). Lost by Design. *Environmental science & technology*, 49(16), 9443-9451. <https://doi.org/10.1021/es505515z>
- Cloostermans, G. (2018, 7/08/2018). Aperam investeert ruim 200 miljoen euro in Genk. *De Standaard*. https://www.standaard.be/cnt/dmf20180806_03651635
- Copper Alliance. (2023). *Copper Environmental Profile*. Retrieved 07/08/2023 from <https://copperalliance.org/sustainable-copper/about-copper/copper-environmental-profile/>
- Cusano, G., Rodrigo Gonzalo, M., Farrell, F., Remus, R., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries*. JRC. <https://doi.org/10.2760/8224>
- de Jonge Baas, M. (2022). Novali start volgend jaar met bouw batterijenfabriek van 20 gigawattuur. *Solar magazine*. <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i26812/novali-start-volgend-jaar-met-bouw-batterijenfabriek-van-20-gigawattuur>
- De Roo, M. (2020). Umicore verhuist kobaltraffinage naar Finland. *De Tijd*, . <https://www.tijd.be/ondernemen/grondstoffen/umicore-verhuist-kobaltraffinage-naar-finland/10255155.html>
- Denuo & Deloitte. (2023). *Klimaatstudie voor de afvalverwerking en recyclagesector in België*. https://denuo.be/sites/default/files/20230608_Denuo%20Climate%20Study_vF_NL.pdf
- Docker, K. (2023). Feedback op de draftteskt "De rol van metalen en 'kritieke grondstoffen' in Vlaanderen - Analyse vanuit een omgevingsperspectief". In.
- E-MAX. (2023). *Facts & Figures*. Retrieved 08/08/2023 from <https://e-max.eu/nl/over-ons/facts-figures>
- ECHA. (2023). *Lood in hagel, kogels en visgerei*. Retrieved 11/08/2023 from <https://echa.europa.eu/nl/hot-topics/lead-in-shot-bullets-and-fishing-weights>
- Ecker, A. (2023, 1 juni 2023). *Kritieke metalen en grondstoffen in Vlaanderen*. Visie Federatie Denuo [Interview].
- Ecobat. (2023). *Lood-antimoon accu*. Retrieved 09/08/2023 from <https://www.hefra.nl/lood-antimoon-accu>
- ETC-WMGE. (2020). *Environmental aspects related to the use of critical raw materials in priority sectors and value chains*. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-wmge/products/etc-wmge-reports/environmental-aspects-related-to-the-use-of-critical-raw-materials-in-priority-sectors-and-value-chains>
- EuroChem Antwerpen. (2023). *Productie - Nitrofosforzuur*. Retrieved 17/08/2023 from <https://www.werkenbijeurochem.be/over-eurochem/nitrofosforzuur>
- Eurofer. (2022). *European steel in figures 2022*. Eurofer. <https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2022/European-Steel-in-Figures-2022-v2.pdf>
- European Commission. (2023a). *Commission staf working document. IMPACT ASSESSMENT. Accompanying the document Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Council Directive 98/24/EC and Directive 2004/37/EC of the European*

European Commission. (2023b). *Study on the critical raw materials for the EU 2023*. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>

European Sustainable Phosphorus Platform. (2023). *European Sustainable Phosphorus Platform*. Retrieved 14/03/2023 from <https://www.phosphorusplatform.eu>

GAO (2022). *CRITICAL MINERALS. Building on Federal Efforts to Advance Recovery and Substitution Could Help Address Supply Risks*. <https://www.gao.gov/assets/gao-22-104824.pdf>

Gillabel J., D. Y., & Vanderreydt I. (2021). *Circular economy and the energy transition – potential of a Flemish circularity hub for EV Li-ion batteries*. <https://ce-center.vlaanderen-circulair.be/en/publications/publication/17-circular-economy-and-the-energy-transition-potential-of-a-flemish-circularity-hub-for-ev-li-ion-batteries>

González, A., Córdoba Sola, P., & Moreno, N. (2018). Germanium: Current and Novel Recovery Processes. In. <https://doi.org/10.5772/intechopen.77997>

Gregoir, L. (2022). *Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge*. <https://eurometaux.eu/media/jmxf2qm0/metals-for-clean-energy.pdf>

Ineos. (2023). *Chemistry in action: wind turbines* <https://www.ineos.com/sites/belgium/news-index/chemistry-in-action-wind-turbines/>

Kupferverband. (2013). *Copper Alloys*. <https://kupfer.de/kupferwerkstoffe/kupfer-legierungen/?lang=en>

Kurstjens, R., Schurmans, M., & Dessein, K. (2018, 24/10/2018). Umicore's strategy to increase Germanium resource efficiency for future low-carbon space multijunction solar cell technology. 2018 Clean space industrial days, Amsterdam.

Maes, A. (2023, 2 Juni 2023). *Kritieke metalen en grondstoffen in Vlaanderen. Visie Federatie - Essenscia* [Interview].

MaterialenNL en ChemistryNL. (2023). *MaterialenNL: Strategic Autonomy. Kennisagenda strategische autonomie voor grondstoffen*. <https://chemistrynl.com/wp-content/uploads/2023/08/2023-Kennisagenda-StrategicAutonomy-LR-interactief.pdf>

Metoree. (2023). *8 Germanium Manufacturers in 2023*. Retrieved 17/08/2023 from <https://us.metoree.com/categories/6916/>

Michaud, D. (2016). *Iron. 911 Metallurgist*. <https://www.911metallurgist.com/blog/different-types-of-iron-ore>

Moors, E., Mulder, K., & Vergragt, P. (2005). Towards cleaner production: Barriers and strategies in the base metals producing industry. *Journal of cleaner production*, 13, 657-668. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.12.010>

Nassar, N. T., Graedel, T. E., & Harper, E. M. (2015). By-product metals are technologically essential but have problematic supply. *Science Advances*, 1(3), 10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400180>

Nyrstar. (2008). *Think zinc. Jaarverslag 2007*. <https://www.nyrstarnv.be/~media/Files/N/Nyrstar-IR/results-reports-and-presentations/dutch/2008/ar07-1.pdf>

OECD. (2019). *Global Material Resources Outlook to 2060 - Economic Drivers and Environmental Consequences*. <https://www.oecd.org/env/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452-en.htm>

Ragonnaud, G. (2023, March 2023). *Securing Europe's supply of critical raw materials. The material nature of the EU's strategic goals* [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/739394/EPRS_BRI\(2023\)739394_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/739394/EPRS_BRI(2023)739394_EN.pdf)

Rentz, O. e. a. (1999). *Report on BAT in German Copper Production (Final Draft) IN Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries*.

Reuter, M. A., van Schaik, A., & Ballester, M. (2018). Limits of the Circular Economy: Fairphone Modular Design Pushing the Limits. *World of Metallurgy – ERZMETALL*, 71(2), 12. https://www.researchgate.net/publication/323855448_Limits_of_the_Circular_Economy_Fairphone_Modular_Design_Pushing_the_Limits/link/5b1b6ab0a6fdcca67b6721e4/download

Science direct. (2023). *Bauxite*. [https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/bauxite#:~:text=Bauxite%20\(Fig.,for%20commercial%20extraction%20for%20aluminum](https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/bauxite#:~:text=Bauxite%20(Fig.,for%20commercial%20extraction%20for%20aluminum).

Screen. (2023). *FACTSHEETS – CRM'S 2023*. Screen. Retrieved 09/08/2023 from <https://screen.eu/CRM's-2023/>

Solvay. (2023). *Green Hydrogen Production: Water Electrolysis*. Retrieved 04/09/2023 from <https://www.solvay.com/en/solutions-market/green-hydrogen/water-electrolysis>

Stultiens, E. (2022, 11/11/2022). Soltech voorziet gevel nieuwe fabriek van zonnepanelen met mijnwerker. <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i34415/soltech-voorziet-gevel-nieuwe-fabriek-van-zonnepanelen-met-mijnwerker>

Stultiens, E. (2023). Belinus gaat nieuwe Europese gigawattfabrieken voor zonnepanelen bouwen. *Solar Magazine*. <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i29207/belinus-gaat-nieuwe-europese-gigawattfabrieken-voor-zonnepanelen-bouwen>

Tytgat, J. (2013). The Recycling Efficiency of Li-ion EV batteries according to the European Commission Regulation, and the relation with the End-of-Life Vehicles Directive recycling rate. *World Electric Vehicle Journal*, 6, 1039-1047. <https://doi.org/10.3390/wevj6041039>

UMICORE. (2023a). *Base metals*. Retrieved 08/08/2023 from <https://pmr.umicore.com/en/metals-products/base-metals/>

UMICORE. (2023b). *Excellence in recycling*. Retrieved 16/08/2023 from <https://pmr.umicore.com/en/about-us/process/>

UMICORE. (2023c). *Our metals*. Retrieved 09/08/2023 from <https://www.umicore.com/en/about/our-metals/>

UMICORE. (2023d, 14/03/2023). *Umicore Battery Recycling: Capturing profitable growth and enabling a circular and low-carbon battery value chain* <https://www.umicore.com/en/newsroom/umicore-battery-recycling/>

UNEP. (2019). *Global Resource Outlook 2019*. <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>

UTS. (2019). *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy*. https://earthworks.org/wp-content/uploads/2019/04/Responsible-minerals-sourcing-for-renewable-energy-MCEC_UTS_Earthworks-Report.pdf

Van Nieuwenhuysen, G. (2022, 27/09/2022). Cummins investeert tientallen miljoenen in dochteronderneming Hydrogenics in Oevel. *Made in* <https://www.made-in.be/kempen/cummins-investeert-tientallen-miljoenen-in-dochteronderneming-hydrogenics-in-oevel/>

Vandenbossche, P. (2013, 15 mei 2023). *Kritieke metalen en grondstoffen in Vlaanderen*. Visie Federatie Agoria [Interview].

Verhoef, E. V., Dijkema, G. J. P., & Reuter, M. A. (2004). Process knowledge, system dynamics, and metal Ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2), 22. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1162/1088198041269382>

Wayenberg, A. (2023, 20/03/2023). Industriële robotisering: een grote kans en uitdaging voor Belgische productiebedrijven. *Agoria*. <https://www.agoria.be/nl/diensten/expertise/industrie-40/innovatie-in-de-maakindustrie/emerging-technologies/industriële-robotisering-een-grote-kans-en-uitdaging-voor-belgische>

Yolkin et al. (2020). Silicon Metallurgy and Ecology Problems. *KnE Materials Science*, 2020. <https://knepublishing.com/index.php/KnE-Materials/article/view/8073/13911>

Zuber, R., Hagelüken, C., Seitz, K., Privette, R., & Fehl, K. (2004). *Recycling of Precious Metals from Fuel Cell Components*.

Zuber, R., Hagelüken, C., Seitz, K., Privette, R., & Fehl, K. (2004). *Recycling of Precious Metals from Fuel Cell Components*.