

Een overzicht van methodes om kritikaliteit van grondstoffen te beoordelen

Wat maakt een grondstof kritiek?

Een overzicht van methodes om kritikaliteit van grondstoffen te beoordelen

Wat maakt een grondstof kritiek?

Auteurs	Elmer Rietveld, Ton Bastein
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Aantal pagina's	74 (excl. voor- en achterblad)
Opdrachtgever	ministerie Economie Zaken en Klimaat
Programmanaam	Netherlands Material Observatory
Projectnaam	Perspectieven op kritikaliteit
Projectnummer	060.57877/01.02

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	4
Voorwoord.....	5
Samenvatting	6
Afkortingen en begrippen	8
1 Kritikaliteit van grondstoffen: een korte introductie en geschiedenis.....	10
2 Eerdere analyses van kritikaliteit door de Europese Commissie en door Nederland....	13
2.1 Kritikaliteitsanalyse door de Europese Commissie sinds 2016	13
2.1.1 Theoretische bepaling van economische impact	14
2.1.2 Theoretische bepaling van leveringsrisico's.....	14
2.1.3 Uitkomst: kritieke en strategische grondstoffen	16
2.2 Eerdere kritikaliteitsanalyse in Nederland.....	18
2.3 Methode van onderzoeksgroep Graedel	24
2.4 De kritikaliteitsmethode van de USGS sinds 2020	25
2.5 Vergelijking methoden en variabelen	26
3 Alternatieve kwantitatieve economische impact indicatoren	29
3.1 Verwachte toekomstige groei.....	29
3.2 Omvang huidige handelsstromen door Nederland	32
3.3 Gebruik van Green Taxonomy.....	34
4 Kwantitatieve leveringsrisico indicatoren, zowel uit EC methode en alternatieve indicatoren	36
4.1 Concentratie van mijnbouwproductie	36
4.2 Concentratie van grondstofreserves.....	39
4.3 De reserve/productie-verhouding.....	41
4.4 Concentratie van geraffineerde grondstoffen en verdere schakels in de keten	43
4.5 De stabiliteit en de kwaliteit van het bestuur van bronlanden weergegeven door WGI	45
4.6 Concentratie en aard van EU-import	48
4.7 Prijsvolatiliteit	51
4.8 De sociale impact van grondstofwinning: IMVO.....	53
4.9 De milieu-impact van grondstofwinning.....	57
5 Naar een alternatieve benadering van kritikaliteit	59
5.1 Kritikaliteit in de gehele keten	59
5.2 Doorlooptijd	61
5.3 Eigenschappen productgroep of sector bepalen kritikaliteit	62
5.4 Verwachte impact op publieke belangen	64
6 Discussie & Aanbevelingen voor gebruik	66
Bronvermelding	69
Bijlage 1 Analyse economisch impact in huidige EC methodiek	73
Bijlage 2 Publieke belangen	75

Voorwoord

Het begrip ‘kritieke grondstoffen’ mag zich inmiddels in een warme belangstelling verheugen. Ze staan centraal in beleidsdocumenten als de Critical Raw Materials Act (een Europese verordening) en de Nationale Grondstoffenstrategie. Toch is die aandacht van een vrij recente datum. De auteurs van dit rapport waren zelf al vanaf 2010 betrokken bij de discussies over en de analyses van schaarste van grondstoffen en van kritikaliteit. Toch kan vanzelfsprekend niet van iedereen die recenter is toegetreden tot dit uitdagende veld verwacht worden dat hij of zij een overzicht heeft over de wijze waarop kritikaliteit in de afgelopen tijd werd gedefinieerd. En naast de manieren hoe officiële instanties (zoals de Europese Commissie) kritikaliteit definiëren is het goed om te beseffen dat er nog tal van andere manieren bestaan om dat begrip in te kleuren. Kritikaliteit is namelijk een begrip dat varieert afhankelijk van de belangstelling van de beschouwer. Er zijn veel perspectieven op risico’s mogelijk, zoals die van risico’s op monopolievorming, risico’s op mensenrechtenschendingen, risico’s die gepaard gaan met de energietransitie, etc.

Daarom is besloten dit rapport te schrijven bij wijze van een uitgebreide ‘syllabus’, met een overzicht van bestaande methodes om kritikaliteit te definiëren, en suggesties voor alternatieve indicatoren., die alle een relevant aspect belichten van waarom we ons hier druk over maken.

Daarmee heeft dit rapport ook een zeker zelf-plagiaat-karakter, waarbij gretig gebruik gemaakt wordt van onder andere ons rapport ‘Materialen in de Nederlandse Economie’ uit 2016 en het rapport over strategische afhankelijkheden uit 2023. Maar we doen dit met als oogmerk dat beleidsmakers en politici die zich met dit veld bezig houden zelf een kritisch oordeel moeten kunnen vellen over het begrip ‘kritieke grondstoffen’ en over wat dat betekent voor de Nederlandse samenleving.

Op deze plaats kunnen we alvast verklappen dat wij ervan overtuigd zijn dat bewustwording rond grondstoffen een goed begin is, maar dat het uiteindelijk zal gaan over hert aanpakken van risico’s over hele leveringsketens en een visie omtrent het gehele industriële ecosysteem en waar we daarmee naartoe willen. Een visie over de gewenste industriepolitiek in deze veranderende wereld dus. Het antwoord op de vraag: “wat maakt een grondstof kritiek?” is dus “een grondstof is kritiek als hij de samenleving helpt te herinneren dat een veerkrachtige en innovatieve maakindustrie een absolute voorwaarde is voor de kwaliteit van leven in een samenleving”. We zullen proberen de rest van de tekst zo kernachtig mogelijk te houden.

Elmer Rietveld en Ton Bastein
Den Haag, juni 2024

Samenvatting

Dit rapport gaat in op de bestaande methodes (en bijbehorende indicatoren) om kritikaliteit van grondstoffen en productgroepen te analyseren. De methode die door Joint Research Center (onderzoeksafdeling van de Europese Commissie (EC)) is ontwikkeld en door de Europese Commissie EC is omarmd heeft een invloed op de overheidsaandacht en -investeringen op nationaal en Europees niveau. Het vormt ook de basis onder de keuzes die in de Critical Raw Materials Act worden gemaakt.

Er zijn twee typen indicatoren voor grondstof kritikaliteit: degene die iets zeggen over de **economische impact** en degene die iets zeggen over de kans dat de aanvoer niet volgens plan verloopt, oftewel **leveringsrisico's**.

De volgende **indicatoren voor economische impact** zijn in detail besproken: toegevoegde waarde van sectoren die de grondstoffen gebruiken, verwachte groei van grondstoffen gebruik, de omvang van handelsstromen over Nederlands grondgebied en de economische activiteit die past in de Green Taxonomy.

De volgende **indicatoren voor leveringsrisico's** zijn in detail besproken als onderdeel van de methode van de Europese Commissie: importafhankelijkheid, recycling (die daadwerkelijk primaire extractie kan vervangen), betrouwbaarheid bronlanden, concentratie van mijnbouw, materiaal-voor-materiaal substitutie en handelsrestricties. Deze indicatoren voor leveringsrisico's zijn onderdeel van de officiële methode van de Europese Commissie. Daar bovenop zijn aanvullende indicatoren voor leveringsrisico's besproken, zoals concentratie van gerapporteerde geologische reserves, de verhouding tussen deze reserves en jaarlijkse extractie, mogelijke bottlenecks na de mijnbouw fase, prijsvolatiliteit, de sociale impact ("schadelijk") en de milieu-impact ("schadelijk") van mijnbouw.

Deze alternatieve indicatoren maken ook duidelijk dat **een lijst kritieke grondstoffen het directe resultaat is van de gekozen indicatoren**. Afhankelijk van de belangstelling en het belang van de individuele onderzoeker of beleidsambtenaar kunnen verschillende grondstoffen als **meer of minder kritiek** worden beschouwd.

Grondstoffen krijgen op dit moment veel aandacht omdat ze jarenlang als een vanzelfsprekend beschikbare productiefactor zijn aangenomen. We bevinden ons dus in een situatie waarin de staart (grondstoffen) de hond (de industriële basis, het industriële ecosysteem) kwispelt. Beslissingen rondom sleutel technologieën, arbeidsmarkt, internationale handel, vestigingsklimaat en infrastructuur **zijn waarschijnlijk belangrijker voor een welvarend Nederland** dan interventies in leveringszekerheid van grondstoffen. Voor een kritikaliteitsbeoordeling is het **dus nodig om grondstoffen aan producten, sectoren en publieke belangen** te verbinden.

Een kritikaliteitsbeoordeling van grondstoffen voor Nederland is aangekondigd. Dit rapport legt daarvoor de basis, door een zo breed mogelijk overzicht aan indicatoren te bespreken. Het is echter verstandig om voor deze beoordeling de **grondstoffen te beschouwen in de context van in de globale leveringsketens/netwerken**. Daarmee ook in de context van de producten waar de grondstoffen in verwerkt zijn, alsmede de manier waarop de industrie de

producten vervaardigt en hoe deze uiteindelijk geconsumeerd worden. Het is dus verstandig om **niet alleen** van kritieke grondstoffen (grondstoffen als de eerste stap van iedere keten), maar ook van kritieke producten te spreken (een keten is een keten van producten tenslotte). **Voor de vervaardiging van kritieke producten is de doorlooptijd van cruciaal belang, omdat dit het beste inzicht geeft in welke publieke interventies bij kunnen dragen aan de veerkracht van de economie.**

We bevelen aan om de aangekondigde kritikaliteitsanalyse voor Nederland **niet alleen** te verrichten op basis van simpelweg een selectie van indicatoren zoals besproken in hoofdstuk 3 en 4. Dit zou leiden tot een beoordeling die beleidsvorming in Nederland weinig tot geen houvast biedt. **De aanbeveling is om ook een methode te ontwikkelen op basis van de benadering zoals gepresenteerd in hoofdstuk 5. Dit betekent een nieuwe werkwijze die is gebaseerd op ketenrelaties, product- en sectoreigenschappen, de tijd die het nodig is om maatregelen te nemen (doorlooptijd) en bovenal de relatie duidelijk maakt tussen grondstof-product-sector-publiek belang.**

Afkortingen en begrippen

- (R)MSA: (Raw) Material System Analysis, een uitgebreide analyse van grondstofstromen door alle stadia van hun levensduur, inclusief de fase aan het einde van hun levensduur
- CAGR: Compound Annual Growth Rate, het jaarlijkse groeipercentage dat nodig is om een bepaald totaal te bereiken (bijvoorbeeld de jaarlijkse mijnbouwproductie) in een bepaald horizonjaar (bijvoorbeeld 2030)
- Companion: als een grondstof wordt gewonnen als bijproduct van een andere grondstof (“host”) wordt deze aangeduid als companion. Voorbeelden van grondstoffen die potentiële bijproducten bevatten zijn ijzer, aluminium, koper, zink en mangaan.
- CPA: Classification of Products by Activity, een statistische nomenclatuur voor productgroepen, rechtstreeks gekoppeld aan sectorclassificaties
- CRMA: de Critical Raw Material Act van de Europese Commissie die tussen maart 2023 en maart 2024 in recordtijd is getransformeerd van een “voorstel tot wetgeving” is getransformeerd naar een verordening (Regulation), die geldt op EU-27 niveau.
- CSRD: Corporate Social Responsibility Directive
- Eerstelijnsleverancier/1st tier supplier: een entiteit in de keten die rechtstreeks aan een onderneming levert, inclusief gecontracteerde productiefaciliteiten of productiepartners. In een leveringsketen leveren tweedelijnsleveranciers aan eerstelijnsleveranciers.
- EoL recycling input rate (RIR): de recycling stromen die daadwerkelijk primaire extractie kan vervangen doordat de kwaliteit van het recycleert hoog genoeg is. Dit in tegenstelling tot recycleert die zijn weg vindt in laagwaardiger toepassingen.
- Extractie, verwerking, productie: Het daaropvolgende proces in de toeleveringsketen, waarbij grondstoffen van de planeet worden gehaald, gezuiverd/verwerkt tot tussenproducten en uiteindelijk tot een eindproduct worden verwerkt dat klaar is voor huishoudelijk of professioneel gebruik
- Groene en digitale transitie: Gemeenschappelijke verwijzing naar de groene en digitale transitie, die transformationele maatschappelijke doelstellingen voor respectievelijk duurzaamheid en digitalisering weerspiegelt
- HHI Herfindahl-Hirschman Index: een maatstaf in economisch onderzoek die de concentratie van leveranciers op de markt beschrijft
- HS/CN: Geharmoniseerd Systeem/Gecombineerde Nomenclatuur, een statistische nomenclatuur voor productgroepen, overgenomen door de douane over de hele wereld. Het is niet direct gekoppeld aan sectorclassificaties en bevat vaak het label “niet elders gespecificeerd (n.e.s.)”
- IEA: Internationaal Energieagentschap
- Industrieel ecosysteem: Industriële ecosystemen omvatten alle spelers die actief zijn in een waardeketen: van de kleinste startups tot de grootste bedrijven, van de academische wereld tot onderzoek, van dienstverleners tot leveranciers.
- JRC: Gemeenschappelijk Onderzoekscentrum van de Europese Unie
- Kapitaalgoederen voorraad: De voorraad materiële, duurzame vaste activa die eigendom zijn van of gebruikt worden door ingezeten ondernemingen voor meer

dan één jaar. Dit omvat fabrieken, machines, voertuigen en uitrusting, installaties en fysieke infrastructuur, de waarde van landverbeteringen en gebouwen

- Kritieke grondstoffen EC assessment: Kritische grondstoffenbeoordeling, de analyse van de rol van veel chemische elementen, in de vorm van mineralen of verwerkt materiaal
- Kritieke grondstoffen: de grondstoffen die cruciaal zijn voor de huidige samenleving, volgens de EC methodiek als zodanig beoordeeld
- MAV: Maximale jaarlijkse volatilititeit, Deze maatstaf voor prijsvolatilititeit wordt berekend als de maximale afwijking van de elf voorgaande maandgemiddelden
- NACE : Nomenclature statistique des Activités économiques dans la Communauté Européenne, de statistische classificatie van sectoren in de EU
- OESO: Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling, sinds 1961
- Productgroep Statistische eenheid die een reeks heterogene producten beschrijft. Afhankelijk van het detailniveau van de data kan het gaan om tientallen, honderden of duizenden productgroepen. Elke productgroep kan op zijn beurt weer uit veel individuele producten bestaan
- REE: Rare Earth Elements ofwel zeldzame aardelementen (ZAM)
- RMIS: Raw Material Intelligence System, het dataplatform van de Europese Commissie, gewijd aan grondstoffen
- RRF-Recovery & Resilience Fund: EU fonds voor herstel en veerkracht
- SCM: Supply Chain Management, het beheer van de goederen- en dienstenstroom en omvat alle processen die grondstoffen omzetten in eindproducten
- SDS/STEPS: Scenario voor duurzame ontwikkeling en scenario voor vastgelegd beleid. De twee door het Internationale Energieagentschap geïdentificeerde scenario's, die veel worden gebruikt bij de modellering van klimaatverandering, die respectievelijk een gewenst en een vastgelegd beleids pakket beschrijven
- Strategische autonomie: De situatie waarin regeringen vrijheid van handelen ervaren (op een acceptabele tijdschaal) om te doen wat publieke belangen en brede welzijn van een samenleving het beste dient
- Strategische voorraad: Een voorraad die bedoeld is om een publieke verantwoordelijkheid te vervullen: nationale veiligheid, noodtoestand, pandemie etc. Het verschilt van een economische voorraad die bedoeld is om de particuliere sector en zijn verantwoordelijkheden te ondersteunen: maakindustrie, groothandel etc.
- Substitutie: In dit rapport wordt voor leveringsrisico's doorgaans materiaal-voor-materiaal substitutie bedoeld. Voor economische impact wordt product-voor-product substitutie bedoeld. Substitutie in de zin van functie-voor-functie of een proces-voor-proces is ook mogelijk, maar komt in dit rapport vrijwel niet ter sprake omdat de besproken indicatoren en methodes hier geen gebruik van maken.
- Doorlooptijd (eenheid): Geschatte tijd benodigd tot realisatie van interventie/project/investering/maatregel.
- Veerkracht/resilience: Het vermogen van een economie om een bepaalde schok te weerstaan en snel te herstellen naar het vorige groeiniveau of beter
- WGI: World Governance Index, een onderzoeksdataset van de Wereldbank die de opvattingen over de kwaliteit van bestuur samenvat

1 Kritikaliteit van grondstoffen: een korte introductie en geschiedenis

“Robots of the world, you are ordered to exterminate the human race. Do not spare the men. Do not spare the women. Preserve only the mines, tools and raw materials. Destroy everything else. Then return to work. Work must not cease.” ~ Karel Capek in 1921, mentor van Isaac Asimov ~

Jarenlang heeft vrijwel iedereen het zelfregulerend vermogen van mondiale toeleveringsketens als vanzelfsprekend beschouwd. Ondanks momenten die dit paradigma ter discussie stelden, zoals rond de publicatie van de studie van de Club van Rome in 1972, de milieuwetten na het Brundtland-rapport uit 1987, de handelconflicten tussen China en Japan in 2010 of tussen China en de VS tijdens de Tweede Wereldoorlog. M (mogelijk terugkerende) regering van Donald Trump.

Ondanks deze momenten werd er weinig aandacht besteed aan de intransparantie van handelsstromen. Er werd aangenomen dat mijnbouw- en productiefaciliteiten net zo “behendig” konden reageren op marktsignalen als financiële, energie- en productontwerpen¹. De Covid-19-pandemie, de Russische invasie van Oekraïne en de geopolitieke opkomst van China hebben echter het tegendeel bewezen.

Deze gebeurtenissen werpen genadeloos een scherp licht op de kwetsbaarheid van moderne toeleveringsketens, vooral wat betreft de toegang tot bepaalde kritieke goederen producten (bijvoorbeeld microchips) en bijbehorende de grondstoffen die nodig zijn voor de productie daarvan. De Covid-19-pandemie heeft nieuwe zorgen doen rijzen over het vermogen van de markten om vraag en aanbod tijdig in evenwicht te brengen. In eerste instantie verdwenen deze zorgen in de loop van 2021 naar de achtergrond, omdat het aanbod zich met tegenzin aanpaste aan de vraag, zij het met vertraging en tegen een hogere prijs. De Russische invasie van Oekraïne verstoort het herstel van de mondiale toeleveringsketens door gebruik te maken van een eeuwenoude dreiging: geopolitiek machtsspel, in een mate die sinds het olie-embargo van 1973 niet meer is voorgekomen. Sindsdien lijkt geopolitiek en de mogelijkheid tot het aloude “verwapenen” van grondstoffen leveranties een permanente politieke realiteit.

De focus op 'kritieke' grondstoffen is aldus waarschijnlijk geen tijdelijk fenomeen. Grondstoffen zijn een onvervangbare productiefactor in een wereldwijde economie die streeft naar technologische vooruitgang en duurzaamheidsdoelstellingen. Strategische afhankelijkheden vormen een risico niet alleen voor de bedrijfsvoering maar ook voor Europese en nationale publieke belangen, zoals nationale veiligheid en

klimaatdoelstellingen en concurrentiekrachtgezondheidszorg, en daarmee voor de open strategische autonomie van Europa. In de wereldwijde verschuiving van fossiele brandstoffen naar de belofte van een duurzame toekomst, worden kritieke grondstoffen zoals lithium, kobalt en zeldzame aardmetalen de nieuwe pijlers van onze samenleving: energievoorziening, veiligheid, gezondheid en infrastructuur. Deze verschuiving veroorzaakt een ongekende stijging in de vraag naar deze onontbeerlijke mineralen. De Europese Unie, afhankelijk van de invoer van materialen "commodities", bevindt zich in een precare positie in de globale jacht zoektocht naar grondstoffen.

Waarom is dit rapport nodig?

In het hart van onze zoektochtraceleveringszekerheid van naar kritieke grondstoffen ligt echter een onduidelijkheid: welke grondstoffen zijn werkelijk onmisbaar voor onze toekomst? Met diverse methoden die elkaar tegenspreken over wat nu echt kritiek is, is de behoefte aan duidelijkheid nijpender dan ooit. Kritiek op deze methoden onthult een fundamenteel probleem: een gebrek aan consensus over wat prioriteit heeft en wat de samenleving daadwerkelijk nodig heeft. Deze onzekerheid is onacceptabel onwenselijk voor Nederlandse beleidsmakers. Zeker nu aan beleidsmakers wordt gevraagd bij te dragen aan de uitvoering en implementatie van de Nationale Grondstoffenstrategie en de Critical Raw Materials Act te implementeren.

Een weloverwogen en robuuste definitie van kritikaliteit is cruciaal, zodat we onze middelen, aandacht, en beleid kunnen richten op de grondstoffen die onze toekomst veiligstellen. Daarbij is de vraag belangrijk (die vanaf hoofdstuk 5 opnieuw wordt gesteld) wat de kritikaliteit het meest bepaalt: de leveringszekerheid van de grondstof, of de afhankelijkheid van dat wat van de grondstof gemaakt wordt?

De Critical Raw Materials Act heeft de inzet van kritikaliteitsanalyses verhoogd. De recent aangenomen Europese Kritieke Grondstoffenwet (European Critical Raw Materials Act, of kortweg CRMA) is het Europese antwoord op de nieuwe geopolitieke context rond grondstoffen. Het tempo waarin deze wet tot stand kwam (tussen maart 2023 en maart 2024 is de wet van status veranderd: van voorstel tot definitief), weerspiegelt niet alleen de urgentie van het probleem, maar ook de nieuwe geopolitieke realiteit waarin Europa opereert. De CRMA richt zich op (de naam zegt het al) kritieke grondstoffen en meer specifiek op een iets kortere set van Strategic Raw Materials (SRM) die strategisch worden genoemd vanwege het belang voor strategische (groeisectoren zoals ICT en de energietechnologie. In dit rapport zullen deze SRMs centraal staan in de uitwerking van voorbeelden.

De onderzoeksvraag waarmee we starten: wat maakt een grondstof kritiek?

We starten bij de onderzoeksvraag wat een grondstof kritiek maakt. Een grondstof wordt als kritiek beschouwd wanneer deze essentieel is voor de economie of belangrijke technologische toepassingen, maar tegelijkertijd risico loopt op toevoerbependingen vanwege verschillende factoren zoals geografische concentratie van productie, politieke instabiliteit in producerende landen, beperkte substitutiemogelijkheden, en lage recyclingpercentages.

De methodologieën voor het bepalen van de kritikaliteit, zoals ontwikkeld door de Europese Commissie, United States Geological Survey (USGS), TNO en onderzoekers aan Yale Universiteit, benadrukken verschillende dimensies van kritikaliteit, waaronder economisch belang, risico's voor de toeleveringsketen, duurzaamheidsaspecten, en de potentie voor recycling en substitutie. Deze methoden variëren in hun benadering en de weging van verschillende criteria, wat de complexiteit en uitdagingen in het identificeren van kritieke grondstoffen onderstreept.

De discussie over kritieke grondstoffen en de methodologieën voor hun beoordeling is niet alleen academisch of technisch van aard, maar heeft ook diepgaande implicaties voor beleidsvorming, bedrijfsstrategieën, en de bredere maatschappelijke inspanningen richting duurzaamheid en technologische vooruitgang. Het onderstreept de noodzaak voor een holistische benadering die economische, milieu-, en sociale factoren integreert, en benadrukt het belang van internationale samenwerking, innovatie in recycling en materiaalsubstitutie, en de ontwikkeling van robuuste en duurzame toeleveringsketens.

De bovenstaande inleiding heeft geleid tot de volgende kennisvragen in oktober 2023, die in dit rapport zullen worden beantwoord:

- Hoe kunnen we vaststellen welke kritieke en strategische grondstoffen (CRM en SRM) voor Nederland relevant zijn?
- Hoe zou een op Nederland gerichte monitoringssysteem m.b.t. kritieke grondstoffen, materialen en componenten eruit kunnen zien?
- Hoe kunnen meer op de toekomst en op due diligence gerichte aspecten een rol spelen in bedoeld monitoringssysteem?
- In hoeverre kunnen circulaire handelingsperspectieven (inclusief recycling) bijdragen aan deze op Nederland gerichte ambities?

Er zijn ook twee kennisvragen die in andere rapporten terugkomen. De vraag “Hoe kan de bijdrage van de end-of-life recycling aan de Nederlandse en Europese behoefte worden geanalyseerd?” komt terug in het ToR3 rapport. De vraag “ In hoeverre weten wij of in de grondstofketen van voor Nederland relevante grondstoffen de zogenaamde Best Available Technologies (in de landen van productie en processing) zijn toegepast?” komt ter sprake in het ToR 4 rapport.

We zullen in dit rapport -waar mogelijk- het verband tussen de te behandelen methodes en indicatoren enerzijds en de beleidsinzet van NGS en CRMA anderzijds belichten. Daarmee is de verzameling te bespreken indicatoren in dit rapport geen willekeurige verzameling, maar hopelijk een ondersteuning voor beleid en beleidsmakers.

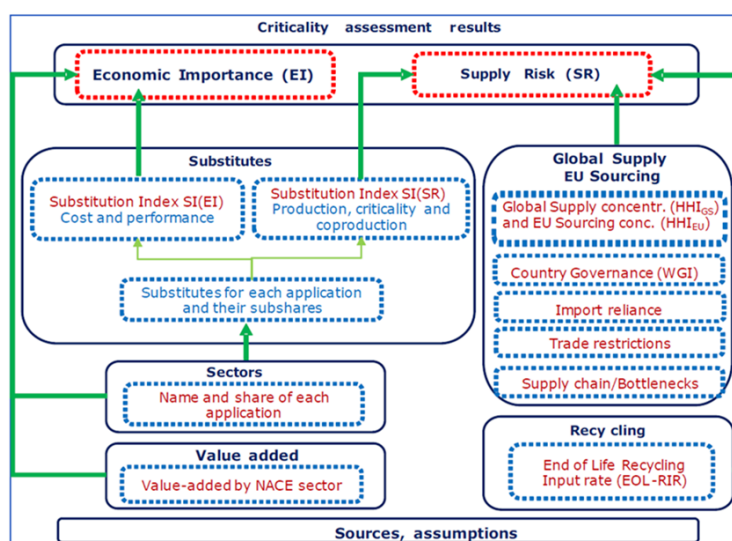
2 Eerdere analyses van kritikaliteit door de Europese Commissie en door Nederland

2.1 Kritikaliteitsanalyse door de Europese Commissie sinds 2016

Vanaf 2010 publiceert de Europese Commissie elke drie jaar een lijst kritieke grondstoffen (Critical raw materials CRMs). De systematiek om tot die lijst te komen is door de jaren heen enigszins gewijzigd, maar in de basis blijft de analyse uit de volgende stappen bestaan:

- Een analyse van het leveringsrisico van een grondstof (leveringsrisico indicator) (de 'y-as' van de grafieken die de Commissie presenteert)
- Een analyse van het economisch belang van een grondstof (de 'x-as' van de grafieken die de Commissie presenteert)
- Een bepaling boven welke drempelwaarde een grondstof moet komen op zowel leveringsrisico als economisch belang om 'kritiek' genoemd te worden.

In de volgende paragrafen gaan we kort in op elk van deze aspecten.



Figuur 1 Schematische weergave van EC-methode om kritikaliteit vast te stellen

2.1.1 Theoretische bepaling van economische impact

De bepaling van de economische impact van grondstoffen in de EU-methode wordt met de volgende formule bepaald:

$$EI = \sum_s (A_s * Q_s) * SI_{EI}$$

Hierbij is:

- EI = economic importance, oftewel het economisch belang
- As = het aandeel van het eindgebruik van een grondstof in een NACE Rev. 2 (2-digit level) sector;
- Qs = de toegevoegde waarde van een sector op het niveau van NACE Rev. 2 (2-digit level);
- SI_{EI} = de substitutie-index gericht op consequenties voor de bepaling van economisch belang.

Voor de achtergrond van de analyse van de substitutie-indices (en details over alle overige elementen uit deze methode) verwijzen we naar het rapport “Methodology for establishing the eu list of critical raw materials -Guidelines-“.⁷

Deze bepaling van economisch belang van een grondstof is aan kritiek onderhevig (zie Bijlage 1): in de ogen van de auteurs van dit rapport is het economisch belang gecorreleerd met de complete toegevoegde waarde van een sub-sector die aanwijsbaar de bewuste grondstof inzet.

2.1.2 Theoretische bepaling van leveringsrisico's

De bepaling van de leveringsrisico's in de EU-methode wordt met de volgende formule bepaald:

$$SR = \left[(HHI_{WGI,t})_{GS} \cdot \frac{IR}{2} + (HHI_{WGI,t})_{EU_{sourcing}} \left(1 - \frac{IR}{2} \right) \right] \cdot (1 - EoL_{RIR}) \cdot SI_{SR}$$

Hierbij is:

- SR = supply risk – leveringsrisico
- IR = import reliance: import-afhankelijkheid
- GS = global supply oftewel de verdeling van wereldwijde bronlanden van een bepaalde grondstof
- EU_{sourcing} zoomt in op de daadwerkelijke levering van grondstoffen in en naar de EU, en houdt dus rekening met de EU-winning t.o.v. de invoer;

⁷ Main authors of 2017 report European Commission, Directorate-General Joint Research Centre: Gian Andrea Blengini, Darina Blagoeva, Jo Dewulf, and many others from JRC. Kayam, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017

- HHI = Herfindahl-Hirschman Index, gebruikt als indicator voor productieconcentratie; de HHI wordt berekend door de som van het kwadraat van de aandelen van de verschillende bronlanden (hoogste HHI is dus 10.000 (oftewel 100%²))
- WGI is World Governance Index, een index die door de Wereldbank jaarlijks wordt gerapporteerd en samengesteld is op basis van 6 onderliggende indicatoren (Voice and Accountability, Political Stability and Absence of Violence/Terrorism, Government Effectiveness, Regulatory Quality, Rule of Law, Control of Corruption). Overigens wordt door de EC een geschaalde variant gebruikt waarbij de WGI toeneemt naarmate de kwaliteit van bestuur als ongunstig wordt beoordeeld. De oorspronkelijke WGI, zoals die door de Wereldbank wordt gepubliceerd, kent voor elk van de onderliggende indicatoren een schaal van -2,5 (meest ongunstig) tot +2,5 (meest gunstig).
- t staat voor een handelsparameter die wordt ingezet als landen handelsrestricties uitoefenen op de export van (bewerkte) grondstoffen. De OESO houdt een integraal overzicht van deze handelsrestricties.
- EOL_{RIR} = end-of-life recycling input rate: dit staat voor de mate waarin de secundaire materialen worden ingezet bij de productie van geraffineerde grondstoffen.
- SI_{SR} = substitution index related to supply risk: een parameter die een inschatting geeft van de mate waarin grondstoffen door andere (bij voorkeur minder kritieke) grondstoffen vervangen kunnen worden.
- Voor de achtergrond van de analyse van de substitutie-indices verwijzen we naar dezelfde methodische uitleg als in de vorige paragraaf.³

Overigens wordt bij deze analyse zowel gekeken naar de eerste stap in elke keten, de winning van erts uit mijnbouw, en naar de opvolgende stap: de raffinage van erts naar (in veel gevallen) metalen. Vervolgens wordt ten behoeve van de bepaling van kritikaliteit een keuze gemaakt voor die stap waar de bottleneck in termen van bronlandconcentratie het hoogst is.

$$(HHI_{WGI,t})_{GS \text{ or } EU \text{ sourcing}} = \sum_c (S_c)^2 WGI_c * t_c$$

Bij het bepalen van het leveringsrisico op deze manier zijn enkele kanttekeningen op zijn plaats:

- De bepaling van de landenconcentratie via de HHI is zeer gebruikelijk bij het bepalen van kritikaliteit. Het combineren van deze HHI met de (geschaalde versie van) de WGI en een factor die exportrestricties verdisconteert, maakt de concentratie-indicator weinig transparant.
- De importafhankelijkheid IR kan in extreme gevallen nul zijn: in die gevallen lijkt het leveringsrisico nog steeds te kunnen bestaan.
- Voor de EoL recycling input rate (RIR) zijn vrijwel geen accurate en actuele data voorhanden. Tot op de dag van vandaag wordt in dergelijke analyses teruggegrepen op de gegevens in het UNEP-rapport "Recycling Rates of Metals"⁴. Vanwege het belang

$$\text{Import Reliance (IR)} = \frac{\text{Import} - \text{Export}}{\text{Domestic production} + \text{Import} - \text{Export}}$$

van recycling voor 'binnenlandse' productie dienen meer transparante gegevens beschikbaar te komen. Tegelijkertijd zou dan de wijze waarop recycling wordt meegenomen in deze analyse aangepast kunnen worden, aangezien recycling kan worden beschouwd als een additionele bron van grondstoffen, met bijbehorende consequenties van de HHI en de met de productielanden verbonden WGI.

De methode van de Europese Commissie kan worden gebruikt om grondstoffenkritikaliteit voor de Nederlandse economie te beoordelen. Het resultaat geeft echter weinig nieuwe inzichten. Het belangrijkste verschil betreft de plaats van een grondstof op de x-as van economische impact. Dit (beperkte) verschil zal worden veroorzaakt door de verschillende omvang van NACE (SBI2) sectoren. In de kwantificatie van leveringsrisico's is geen wezenlijk verschil relevant. Gegeven de interne markt van de EU zal Import Reliance (IR) niet verschillend zijn per lidstaat. Daarnaast zijn recyclingratio's en substitutiekansen niet lidstaat specifiek.

De analyse die in 2023 is gepubliceerd geeft aanleiding tot een lijst van 34 CRMs.² Met ingang van dit rapportagejaar is het begrip strategische grondstoffen, Strategic Raw Materials oftewel SRMs geïntroduceerd. Deze lijst omvat in totaal 16 (in sommige gevallen iets nauwer gespecificeerde kwaliteiten van) grondstoffen die van strategisch belang zijn voor groene, digitale, ruimtevaart- en defensietoepassingen en onderhevig zijn aan toekomstige leveringsrisico's (oftewel: de verwachting dat de genoemde applicaties een opwaartse druk op de vraag zullen hebben). SRMs zijn daarmee minder kwantitatief geformuleerd dan CRMs.

Overigens zijn koper en nikkel vanwege hun belang voor de energietransitie toegevoegd aan de lijst CRMs ondanks dat deze grondstoffen de criteria niet halen.

In de Critical Raw Materials Act (CRMA) zijn de zogenaamde benchmarks op het gebied van winning, raffinage en recycling van grondstoffen verbonden aan deze SRMs en dus niet aan de volle breedte van de CRMs.

Tabel 1 Overzicht CRMs en SRMs volgens 2023-beoordeling van de EC

	kritiek	strategisch	specificatie SRM
Antimony	x		
Arsenic	x		
Aluminium/Bauxite	x		
Baryte	x		
Beryllium	x		
Bismuth	x	x	
Boron	x	x	metallurgy grade
Cobalt	x	x	
Coking Coal	x		
Copper	x	x	
Feldspar	x		
Fluorspar	x		
Gallium	x	x	
Germanium	x	x	
Hafnium	x		
Helium	x		

² <https://rmis.jrc.ec.europa.eu/eu-critical-raw-materials>

Heavy Rare Earth Elements	x		
Light Rare Earth Elements	x		
Rare earth elements for magnets		x	Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm, Ce
Lithium	x	x	battery grade
Magnesium	x	x	metal
Manganese	x	x	battery grade
Natural Graphite	x	x	battery grade
Nickel – battery grade	x	x	battery grade
Niobium	x		
Phosphate rock	x		
Phosphorus	x		
Platinum Group Metals	x	x	
Scandium	x		
Silicon metal	x	x	
Strontium	x		
Tantalum	x		
Titanium metal	x	x	
Tungsten	x	x	
Vanadium	x		
AANTAL	34	16	

In dit rapport zullen we analyses van verschillende kritikaliteitsindicatoren laten zien en we zullen dat doen aan de hand van de lijst SRMs.

2.2 Eerdere kritikaliteitsanalyse in Nederland

In het rapport “Materialen in de Nederlandse Economie” (TNO, 2016) heeft TNO een vernieuwende benadering voor het evalueren van de leveringszekerheid en kritikaliteit van grondstoffen geïntroduceerd, met een expliciete focus op zowel de korte- als de lange-termijn perspectieven. Deze tweeledige benadering erkent de dynamische aard van kritikaliteit, waarbij de factoren die de leveringszekerheid op korte termijn beïnvloeden, aanzienlijk kunnen verschillen van die op lange termijn.

Door het onderscheid tussen korte- en lange-termijn kritikaliteit aan te brengen, biedt de door TNO geïntroduceerde ‘MIDNE’-methode een gedetailleerd inzicht in hoe de leveringszekerheid van grondstoffen kan fluctueren over tijd.

Daarnaast biedt de TNO-MIDNE methode een alternatieve invalshoek op de kritikaliteit van grondstoffen door niet alleen onderscheid te maken tussen korte- en lange-termijn perspectieven, maar ook door de implicaties op zowel nationaal als bedrijfsniveau te benadrukken. Deze gelaagde aanpak erkent dat de uitdagingen en strategieën rondom

grondstoffenbeheer kunnen variëren afhankelijk van het perspectief en de belangen van de betrokken stakeholders.

Vanuit een nationaal perspectief ligt de focus op het waarborgen van de leveringszekerheid en het minimaliseren van risico's die de economische stabiliteit en duurzame ontwikkeling kunnen ondermijnen. De lange-termijn kritikaliteit, bepaald door factoren zoals geo-economische reserves en landenrisico's, speelt hier een cruciale rol. Nationale beleidsmakers moeten rekening houden met de structurele beschikbaarheid van grondstoffen en de geopolitieke dynamiek die de toegang tot deze grondstoffen kan beïnvloeden. Dit vereist een vooruitziende blik en strategieën gericht op het diversifiëren van toevoerbronnen, het bevorderen van recycling en het stimuleren van onderzoek naar alternatieve grondstoffen (allen handelingsperspectieven in de NGS). Daarnaast benadrukt de afhankelijkheid van 'companions' (een grondstof is een companion als deze als bijproduct wordt gewonnen bij winning van bijvoorbeeld ijzer, koper, aluminium, zink of mangaan) de noodzaak voor nationaal beleid om de veerkracht van de toevoerketen te versterken door te investeren in technologieën die de afhankelijkheid van dergelijke bijproducten kunnen verminderen.

Voor bedrijven ligt de nadruk voornamelijk op operationele efficiëntie en het mitigeren van korte-termijn risico's die de continuïteit van de productie kunnen verstoren. Factoren zoals de concentratie van bronlanden, governance en exportrestricties, en lage recyclingpercentages van end-of-life-producten zijn hier van bijzonder belang. Bedrijven moeten flexibel en adaptief zijn in hun inkoopstrategieën, en tegelijkertijd investeren in duurzame productiepraktijken en het vergroten van de circulariteit binnen hun operaties. De korte(re)-termijn focus op leveringszekerheid vereist dat bedrijven proactief risicobeheer en leveranciersdiversificatie toepassen om tegen te gaan dat verstoringen in de toevoerketen hun bedrijfsvoering belemmeren.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de indicatoren die invulling geven aan deze drie perspectieven³. In deze tabel worden vier categorieën benoemd: Lange- en korte termijn leveringszekerheid, bedrijfsresultaat en bedrijfsreputatie. Resultaat en reputatie zijn onderscheiden op basis van het wel of niet aanwezig zijn in marktprijzen van een indicator.

Tabel 2 Overzicht van indicatoren en gegevens voor integrale kwetsbaarheidsbeoordeling in deze studie

Invloed op.	Indicator
Lange termijn Leveringszekerheid (>10j)	Geo-economisch: Reserve/Productie (R/P)
	Geo-economisch: Companionality (mate waarin grondstof een bijproduct is)
	Geopolitiek: Concentratie van reserves van grondstoffen (HHI _{res}) in bronlanden
Korte termijn Leveringszekerheid	Geopolitiek: Concentratie van winning van grondstoffen (HHI _{prod}) in bronlanden
	Geopolitiek: de stabiliteit en de kwaliteit van het bestuur van bronlanden weergegeven door WGI
	Geopolitiek: Bestaande exportrestricties (OECD-gegevens)
	End-of-life recycling rate
Bedrijfsresultaat	Prijsvolatiliteit van grondstoffen (MAPII)
Bedrijfsreputatie	Milieu-impact van grondstoffen

³ Een analyse waarin deze indicatoren worden vergeleken met de OESO-richtlijnen wordt verricht in Bijlage D van dit rapport.

Prestaties van bronlanden wat betreft menselijke ontwikkeling (Human Development Index HDI)
Regelgeving omtrent conflictmineralen

Gegevens over elk van deze indicatoren voor meer dan 60 abiotische (en enkele biotische) grondstoffen zijn bijeengebracht in de Grondstoffenscanner, die het ministerie van EZK heeft opgezet naar aanleiding van het verschijnen van het eerder aangehaalde MIDNE-rapport.⁴

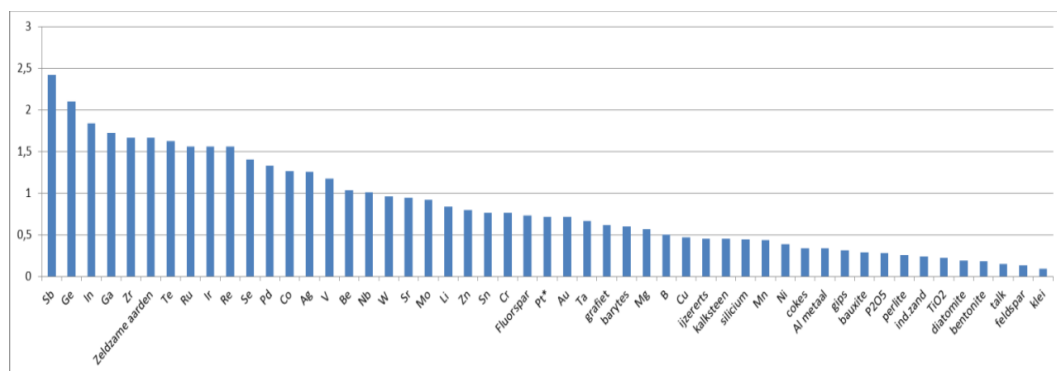
Voor een risico-inschatting voor de langere termijn neemt de analysemethode structurele factoren die de leveringszekerheid kunnen beïnvloeden in beschouwing:

- i) Geo-Economische Reserve: Grondstoffen met lage geo-economische reserves worden als kritischer beschouwd, aangezien dit duidt op beperkte beschikbaarheid (of in ieder geval onzekerheid daarover voor toekomstige exploitatie).
- ii) Landenrisico voor Reserves: De methode overweegt het risico verbonden aan de landen met de grootste reserves. Hoge risico's ontstaan wanneer deze landen politiek instabiel zijn of onbetrouwbare handelspartners blijken.
- iii) Afhankelijkheid van 'Companions': Een uniek aspect van tal van CRMs en SRMs is dat zij slechts worden gewonnen als bijproducten ('companions') van zogenaamde 'hosts'. Een groot aandeel van winning als companion suggereert een potentiële kwetsbaarheid in de productiecapaciteit, gezien de afhankelijkheid van de winning van andere grondstoffen.

De leveringszekerheid van grondstoffen voor de lange termijn wordt in deze studie als laag beschouwd als de geo-economische reserve laag is OF de landenconcentratie (voor reserves) hoog is OF de grondstoffen in hoge mate uit 'companions' bestaan zodat relatief weinig productieflexibiliteit bestaat. In een formule:

$$\text{Criticality}_{LT} = \text{HHI}_{res} + 1(R/P) + \% \text{companionality}$$

Deze systematiek leidt tot het volgende overzicht van op lange termijn kritieke grondstoffen:



Figuur 3 Lange termijn kritikaliteit van grondstoffen

⁴ Zie: <https://www.grondstoffenscanner.nl/>; [Resources Scanner \(grondstoffenscanner.nl\)](https://www.grondstoffenscanner.nl/): deze website bevat niet alleen informatie over grondstoffen, maar beoogt vooral de verbinding te leggen tussen grondstoffen en productgroepen waarin deze grondstoffen aanwezig (kunnen) zijn. Het zoomt verder in op landenrisico's en geeft handelingsperspectieven

De bouwmineralen met een hoge en daardoor niet-gedefinieerde reservevoorraad komen als minst kritieke grondstoffen naar voren.

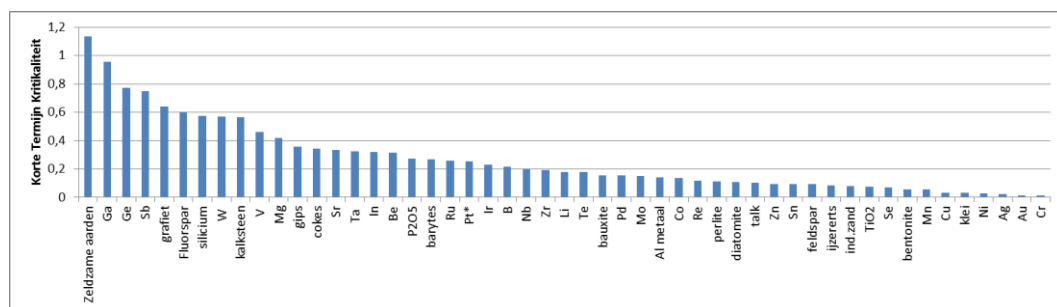
Voor een risico-inschatting voor de korte termijn concentreert de analyse zich op de risico's voor de leveringszekerheid van grondstoffen die zich op korte termijn kunnen manifesteren. Drie primaire factoren worden in deze analyse meegenomen:

- i) Hoge Bronlandconcentratie: De methode benadrukt het risico verbonden aan grondstoffen waarvan de productie geografisch geconcentreerd is in een beperkt aantal landen. Een hoge concentratie vergroot de kwetsbaarheid voor politieke, economische, of natuurlijke verstoringen in deze regio's.
- ii) Governance en Exportrestricties: Landen met een ongunstige score op de World Governance Index, die ook geneigd zijn exportrestricties in te stellen, worden als risicofactoren gezien. Dit aspect onderstreept het belang van politieke stabiliteit en betrouwbare handelsrelaties voor de leveringszekerheid.
- iii) Lage Recycling van End-of-Life-Producten: De methode wijst op de kritikaliteit van grondstoffen met lage recyclingpercentages bij producten aan het einde van hun levenscyclus. Dit duidt op een overmatige afhankelijkheid van primaire bronnen en onderstreept het belang van het ontwikkelen van effectievere recyclingprocessen.

De leveringszekerheid van grondstoffen voor de korte termijn wordt in deze studie als laag beschouwd als de bronlandconcentratie hoog is EN deze bronlanden een matige World Governance Index hebben en bereid blijken exportrestricties in te stellen EN er een lage recycling plaatsvindt van end-of-life-producten. In een formule:

$$\text{Criticality}_{KT} = \text{HHI}_{\text{prod}} * (\text{WGI}_{\text{gewogen}} + \text{OECD-restricties}_{\text{gewogen}}) * (1 - \% \text{EOL-RR})$$

Volgens deze opzet is de volgorde van kritikaliteit binnen de hier onderzochte grondstoffen als volgt:



Figuur 4 Korte-termijn kritikaliteit van grondstoffen

Grondstoffen die een hoog recycling-percentages wordt toegedicht komen als weinig kritiek tevoorschijn. Grondstoffen zonder recycling en een hoge bronland-concentratie met een actieve politiek rond grondstofnationalisme komen als kritiek naar voren.

De x-as van economische impact van de MIDNE methode is, net als de leveringsrisico's op de y-as, gebaseerd op de koppeling van grondstoffen en productgroepen. De volgende stappen

- 1) Het is bekend welke van de ca. 5000 6-digite (classificatie in het Geharmoniseerd Systeem) productgroepen welke grondstoffen bevatten. Deze koppeling is gemaakt in een overzicht dat bekend staat onder de naam "koppelmatrix"

- 2) De ca. 5000 productgroepen zijn te vertalen in ca. 4000 productgroepen volgens het CPA 2.1 (classificatie in Classifications of Products by Activity). Door deze koppeling wordt het detailniveau grotendeels behouden.
- 3) De “alles-of-niets” benadering wordt gevolgd: als een grondstof aanwezig is in 1 van de 4000 CPA productgroepen dan wordt alle economische waarde (gemiddelde van import en exportwaarde) van die productgroep aan de grondstof toegekend.
- 4) Door de directe koppeling tussen CPA en het SBI systeem kan worden bepaald welk deel van de Toegevoegde Waarde van een sector samenhangt met een grondstof

Bijvoorbeeld: 213 CPA productgroepen beschrijven samen de SBI2 sector “Basismetaal”. Grondstof X is in 47 van die 213 CPA productgroepen aanwezig. De opgetelde economische waarde van de 47 productgroepen komt overeen met 18% van de waarde van alle 213 productgroepen. Grondstof X krijgt vervolgens 18% van de Toegevoegde Waarde toegewezen die in de SBI2 sector “Basismetaal” wordt gerealiseerd.

De verschillen met de methode van de Europese Commissie om economische impact te bepalen zijn direct duidelijk. De EC methode zou de economische waarde van Grondstof X in bovenstaand voorbeeld bepalen op welk deel van Grondstof X in de Basismetaal wordt gebruikt. De uitkomst zegt in dat geval iets over de Grondstof X, niet over de waarde van Basismetaal. Als 90% van Grondstof X wordt gebruikt in Basismetaal wordt de economische impact van die Grondstof X op de sector enorm overschat. Als slechts 3% van de Grondstof X wordt gebruikt wordt de impact op de sector enorm onderschat. Zie bijlage 1 voor een verdere discussie van de implicaties van de keuzes in de EC methode op het vlak van economische impact.

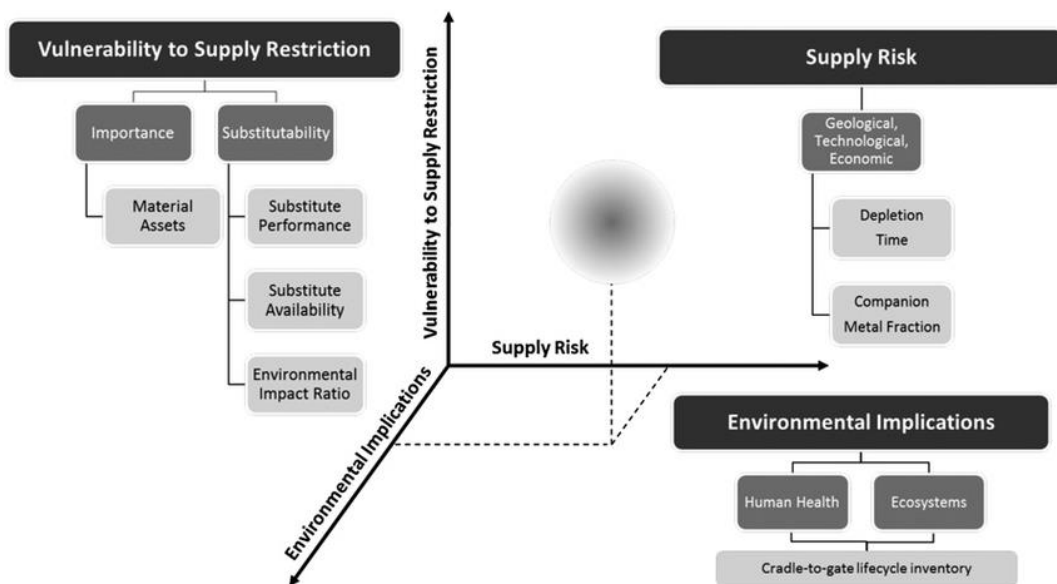
De in deze studie ontwikkelde koppelmatrix stelt ons in staat om het gebruik van deze grondstoffen te koppelen aan de toegevoegde waarde van sectoren. Sectoren die veel gebruik maken van grondstoffen met een relatief hoge leveringonzekerheid zullen relatief kwetsbaarder zijn dan andere. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 5. Gezien het gebruik van veel van de meer kritieke grondstoffen zijn de elektronische, elektrische apparaten- en transportmiddelen- en overige industrie relatief kwetsbaar. Sub-sectoren die ressorteren onder de categorie “Overige sectoren⁵” zijn o.a. de vervaardiging van (onderdelen van) meubels, sieraden, munten, muziekinstrumenten, sportartikelen en speelgoed. Kort daarop volgen de metaalproductenindustrie en de machinebouw.

Biotische grondstoffen en fossiele brandstoffen worden in deze studie niet onder de loep genomen. Het wekt dus geen verbazing dat die sectoren die gebruik maken van dergelijke grondstoffen hier als niet kwetsbaar naar voren komen (zoals voedings- en genotsmiddelenindustrie, chemie en farmacie). Deze omissie is deels ingevuld in de opname van 20 biotische grondstoffen in de koppelmatrix (CREM 2019), variërend van aardbeien en koolzaad olie tot grondstoffen relevant voor non-food zoals katoen en natuurlijk rubber. Het meenemen van afhankelijkheden in biotechnologie (zaadveredeling) of farmacie (actieve farmaceutische ingrediënten) is een optie voor de toekomst.

⁵ Dit betreft de SBI2-sector Vervaardiging van meubels; vervaardiging van overige goederen N.E.G. (niet elders genoemd).

2.3 Methode van onderzoeksgroep Graedel

Een van de eerste en nog steeds een van de meest gezaghebbende kritikaliteitsmethodieken is ontwikkeld in 2009 door de onderzoeksgroep onder leiding van Thomas Graedel aan de Yale University. Deze methode is ook van grote invloed geweest op de TNO methodiek beschreven in §2.2. De methode van Graedel e.a. onderscheidt zich door een multidisciplinaire aanpak, die een breed scala aan factoren meeneemt om de kritikaliteit van grondstoffen te beoordelen. Deze methode richt zich niet alleen op economische en ketenrisico's, maar integreert ook milieueffecten, technologische ontwikkelingen, en de mogelijkheid tot substitutie van materialen. Deze benadering biedt een holistisch beeld van wat een materiaal kritiek maakt binnen de context van zowel huidige als toekomstige duurzaamheid en technologische vooruitgang.



Figuur 7 Analytisch raamwerk ontworpen door Graedel c.s. (Yale)

Eerst beoordeelt de Yale Methode de economische betekenis van grondstoffen en hun risico op toevuerverstoringen. Dit houdt in dat gekeken wordt naar de geografische concentratie van mijnbouw en verwerking, politieke stabiliteit van producerende landen, en de huidige en toekomstige vraag naar deze grondstoffen. Het unieke aspect hier is de diepgaande analyse van hoe technologische veranderingen de vraag naar specifieke grondstoffen kunnen beïnvloeden.

Vervolgens onderzoekt de methode de vervangbaarheid van grondstoffen door alternatieven en de rol van recycling in het verminderen van de afhankelijkheid van nieuw gewonnen grondstoffen. Dit aspect is cruciaal voor het begrijpen van de mate waarin een materiaal als kritiek kan worden beschouwd; grondstoffen met weinig tot geen vervangbare alternatieven of lage recyclingpercentages worden als kritieker gezien.

Een ander kenmerkend element is de milieu-impact beoordeling. De Yale Methode integreert een gedetailleerde evaluatie van de ecologische voetafdruk van het winnen, verwerken, en gebruiken van grondstoffen. Dit omvat overwegingen zoals de bijdrage aan

klimaatverandering, watergebruik, en verlies van biodiversiteit, waarmee de methode de milieudimensie van kritikaliteit benadrukt.

Tot slot analyseert de methode hoe grondstoffen bijdragen aan technologische innovatie en de transitie naar een duurzamere economie. Dit houdt rekening met de essentiële rol van bepaalde grondstoffen in de ontwikkeling van groene technologieën, zoals hernieuwbare energiebronnen en elektrische voertuigen, en hoe deze bijdragen aan duurzaamheidsdoelstellingen.

Door deze uitgebreide benadering biedt de Yale Methode een diepgaand inzicht in de complexiteit van kritikaliteit, waarbij niet alleen wordt gekeken naar de huidige situatie maar ook naar de toekomstige duurzaamheid en technologische ontwikkelingen. Het stelt beleidsmakers, industrieën, en onderzoekers in staat om geïnformeerde beslissingen te nemen over het beheer en de ontwikkeling van grondstoffen, met een evenwicht tussen economische groei, technologische vooruitgang, en milieubescherming.

2.4 De kritikaliteitsmethode van de USGS sinds 2020

De United States Geological Survey (USGS) is één van de belangrijkste onderzoeksinstituten op het gebied van mijnbouw in de wereld. Het USGS heeft in 2020 een methode gelanceerd (Nasser et al. 2020) voor het bepalen van de kritikaliteit, waarbij een klein deel in het teken staat van de toekomstige grondstofvraag. De meest recente versie van de kritikaliteitsanalyse voor de VS stamt uit 2022 (USGS 2022).

Het leveringsrisico (Supply Risk, ofwel SR) van een grondstof wordt in deze methode berekend als het geometrische gemiddelde van drie indicatoren: disruptie potentie (DP), handelsblootstelling (TE) en economische kwetsbaarheid (EV). De vergelijking is hieronder

$$SR = (DP \cdot TE \cdot EV)^{\frac{1}{3}}$$

weergegeven.

Deze indicatoren zijn bedoeld om respectievelijk de drie complementaire aspecten van risico vast te leggen: leveringsrisico, blootstelling en kwetsbaarheid. Voor een gemakkelijke vergelijkbaarheid werd elke indicator genormaliseerd op een gemeenschappelijke schaal van 0 tot 1, waarbij hogere scores een grotere mate van risico aanduiden.

De eerste vergelijking hieronder berekent het leveringsrisico (DP) voor een bepaalde grondstof “i” in een bepaald jaar “t”. PS staat voor het aandeel van de wereld mijnbouw

$$DP_{i,t}^{\text{raw}} = \sum_c (PS_{i,t,c}^2 \cdot ASI_{t,c} \cdot WSI_{t,c})$$

productie dat kan worden toegeschreven aan land “c”. De ASI (“Ability to Supply”) is een land specifieke index die wordt bepaald door scores op het gebied van beschikbaarheid van geschoolde arbeidskrachten, toegang tot infrastructuur en macht, niveau van veiligheid en

politieke stabiliteit, belastingstelsel en onzekerheden met betrekking tot wet- en regelgeving. Het is daarmee te vergelijken met het gebruik van de World Governance Index. De WSI (“Willingness to Supply”) is een land specifieke index gebaseerd op handelsbetrekkingen (TT), gedeelde waarden (SV) en militaire samenwerking (MC). Deze aspecten worden in de Europese methode slechts door coëfficiënten in handelsverdragen meegenomen.

De tweede vergelijking berekent de handelsblootstelling (TE) voor een bepaalde grondstof “i” in een bepaald jaar “t”. De TE-indicator meet dus de mate van blootstelling aan verstoringen

$$TE_{i,t} = \frac{I_{i,t} - E_{i,t} + \Delta S_{i,t}}{AC_{i,t}}$$

van het buitenlandse aanbod door de Amerikaanse netto-importafhankelijkheid te berekenen als een percentage van de schijnbare consumptie voor elke grondstof. Voor grondstof “i” in jaar “t” zijn I en E respectievelijk de Amerikaanse import- en exporthoeveelheden, gebaseerd op dezelfde handelscodes van het Geharmoniseerd Systeem die in Europa worden gebruikt. De ΔS staat voor de aanpassingen van de Amerikaanse industrie- en overheidsvoorraden. Afsluitend is AC (“Apparent Consumption”) het schijnbare verbruik in de VS is, die wordt bepaald door import, export, primaire extractie (mijnbouw), recycling en voorraadvorming simpelweg op te tellen.

De derde en laatste vergelijking berekent de economische kwetsbaarheid (EV) van de Amerikaanse productiesector “j” voor een bepaalde grondstof “i” in een bepaald jaar “t”.

$$EV_{i,t}^{\text{raw}} = \sum_j \left(\frac{VA_{t,j}}{GDP_t} \cdot \frac{EXP_{i,t,j}}{OP_{t,j}} \right)$$

De term EXP staat voor de uitgaven van sector “j” aan grondstoffen. De OP (“Operating Profit”) is de bedrijfswinst van die bedrijfstak, en VA (“Value Added”) is de toegevoegde waarde van de bedrijfstak (m.a.w. de bijdrage van “j” aan het BBP). De term GDP is eenvoudigweg het BBP in een bepaald jaar. De verhouding tussen EXP en OP geeft een maatstaf voor de kwetsbaarheid van elke bedrijfstak, terwijl die van VA ten opzichte van het BBP een maatstaf is voor het economische belang van die bedrijfstak voor de economie.

Concluderend kan worden gezegd dat veel van de indicatoren direct of indirect overeenkomen met de methode die wordt gebruikt door de EC. Tegelijk toont de methode van de USGS aan dat kritikaliteit met dezelfde indicatoren een andere score kan opleveren door het gebruik in een verschillend formule.

2.5 Vergelijking methoden en variabelen

In de vorige paragrafen zijn 4 kritikaliteitsmethodes besproken die wij om historische of praktische redenen relevant achtten. Toch is dit slechts een kleine verzameling van de

organisaties die zich bezig gehouden hebben met het ontwikkelen van een CRM-lijst op basis van een deels zelf opgestelde kritikaliteitsmethode. De separaat gepubliceerde bijlage bij het JRC-rapport *Assessment of the Methodology for establishing the EU List of Critical Raw Materials* (Blengini, 2017b) geeft een indrukwekkend overzicht van de letterlijk tientallen organisaties die zich daar mee bezig gehouden hebben. En van de verschillende CRM-lijsten die daar uit komen. Het is onmogelijk daarvan een integraal beeld te scheppen, alhoewel bij eerste beschouwing de indicatoren die in het vervolg de revue passeren wel zeer algemeen ingezet worden.

Een indrukwekkend overzicht van de vele verschillende indicatoren die in omloop zijn voor zowel inzicht in leveringsrisico's als in de economische impact c.q. kwetsbaarheid is verzameld door (Schrijvers, 2019).

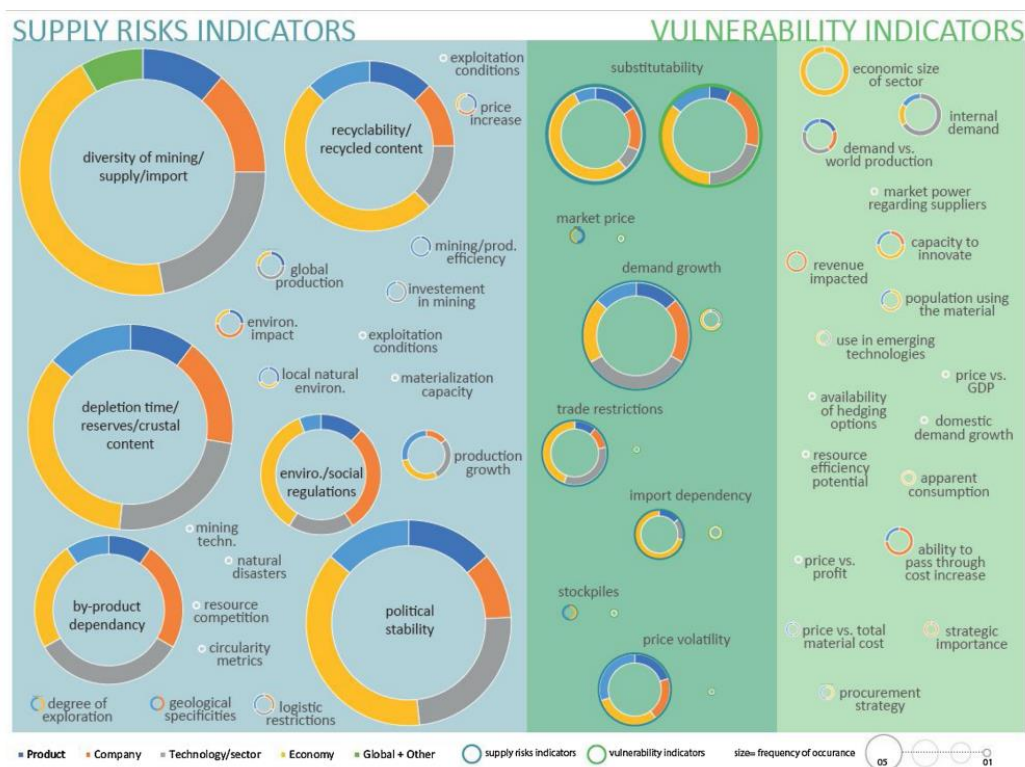


Fig. 4. Indicators for the probability of a supply disruption and/or the vulnerability to a supply disruption, their frequency of use, and the scope in which they are used. Detailed tables with background information are provided in Section S2 and S3 of SI-D.

Figuur 8 Overzicht indicatoren (bron: Schrijvers, 2019)

Het overzicht bevat zevenenveertig mogelijke indicatoren. Uit een dergelijk overzicht blijkt al dat er nog meer perspectieven op kritikaliteit mogelijk zijn, boven op de perspectieven uit de reeds geïntroduceerde vier methodieken.

Veel van deze indicatoren passeren de revue in hoofdstuk 3, 4 en 5 (zover ze nog niet besproken zijn). De volgende tien indicatoren uit dit overzicht blijven voor nu buiten beschouwing: exploratie omstandigheden, investering omvang in mijnbouwsector, mijnbouw technologie, natuurrampen, mate van exploratie, lokale milieu impacts rondom mijnbouw, logistieke beperkingen, voorraadvorming, hedging mogelijkheden en het deel van de eindgebruiker dat een grondstof consumeert. Het is mogelijk, maar niet waarschijnlijk, dat deze tien indicatoren in de toekomst deel gaan uitmaken van het in Nederland

gehanteerde palet aan indicatoren. De belangrijkste reden hiervoor is dat de meeste van deze tien indicatoren relevant zijn voor landen met een significante bewezen voorraad aan (in potentie) kritieke grondstoffen.

Van de methodes die wij hiervoor bespraken zijn de overeenkomsten en verschillen samengevat in de onderstaande tabel.

Tabel 3 Vergelijking van kritikaliteitsmethodes

Dimensie	EC-Methode	TNO-MIDNE Methode	Graedel Methode	USGS-Methode
Focus	Toevoerrisico & Economisch belang	Duurzaamheid, Economisch belang, Toevoerrisico	Duurzaamheid, Technologische ontwikkeling, Economisch belang, Toevoerrisico	Toevoerrisico & Economisch belang
Impact-variabelen	Product-voor-product substitutie, Importafhankelijkheid, Toegevoegde waarde per sector	Geo-economische reserves, Landenrisico, Afhankelijkheid van 'companions', Recyclinggraad	Milieu-impact, Substitutiemogelijkheden, Bijdrage aan duurzame technologieën	Productieconcentratie, Substitutiemogelijkheden, Recyclingpercentages
Termijn	Lange termijn	Korte & Lange termijn	Lange termijn met nadruk op duurzaamheid en toekomstige technologieën	Voornamelijk korte termijn
Recycling en Circulariteit	Impliciet via importafhankelijkheid	Recyclinggraad	Milieueffecten en duurzaamheidsbijdrage	Recyclingpercentages
Duurzaamheid & Milieueffecten	Niet primair gefocust	Duurzaamheidsaspect en geïntegreerd	Centraal in de methode	Niet primair gefocust
Beleids-implicaties	EU-specifiek beleid	Beleidsadviezen gericht op Nederland	Voorstellen voor duurzaam beheer en technologische innovatie	US-specifiek beleid

De methoden voor het bepalen van de kritikaliteit van grondstoffen delen een fundamentele focus op economische impact en leveringsrisico's. Deze universele benadering erkent dat het essentieel is om te bepalen welke grondstoffen vitaal zijn voor economische activiteiten en tegelijkertijd gevoelig voor leveringsonderbrekingen.

3 Alternatieve kwantitatieve economische impact indicatoren

Bij de in hoofdstuk 2 behandelde analyses is gekozen voor een analyse van de economische impact van grondstoffen als relevant aspect. Er is echter een aantal andere mogelijke impacts te suggereren die -afhankelijk van de interesse van de onderzoeker of beleidsmaker- een andere blik werpt op de mate waarin bepaalde grondstoffen en grondstoffen als kritiek worden beschouwd. Een aantal van die mogelijkheden passeert in dit hoofdstuk de revue, te weten:

- i) Verwachte toekomstige groei (bijvoorbeeld a.g.v. klimaatdoelen en de energietransitie)
- ii) De omvang van huidige handelsstromen door Nederland
- iii) Verwachte impact op publieke belangen
- iv) Gebruik van Green Taxonomy om te bepalen welke economische activiteit prioriteit verdient op basis van duurzaamheidsambities
- v) Belang voor kwetsbare sectoren

3.1 Verwachte toekomstige groei

Relatie met de NGS

Net als de Europese Commissie zelf stelt het Rijk vast dat kritikaliteit ook het toekomstig gebruik betreft: *“onze economie van de toekomst vraagt om andere grondstoffen dan onze huidige economie.. De aanpak uit deze strategie kan in de toekomst mogelijk ook van toepassing zijn op andere grondstoffen”*. Dit lijkt wellicht vanzelfsprekend, maar tussen 2010 en 2023 heeft toekomstig gebruik nooit een kwantitatieve rol gespeeld in de beoordeling van kritikaliteit door de EC. De verwachting is dat in een volgende beoordeling van grondstoffen kritikaliteit dit wel gebeurt. Bij de uitvoering van de NGS zal het toekomstig gebruik van grondstoffen ook nadrukkelijk een rol spelen in het bepalen van activiteiten.

Aanpak en indicatoren

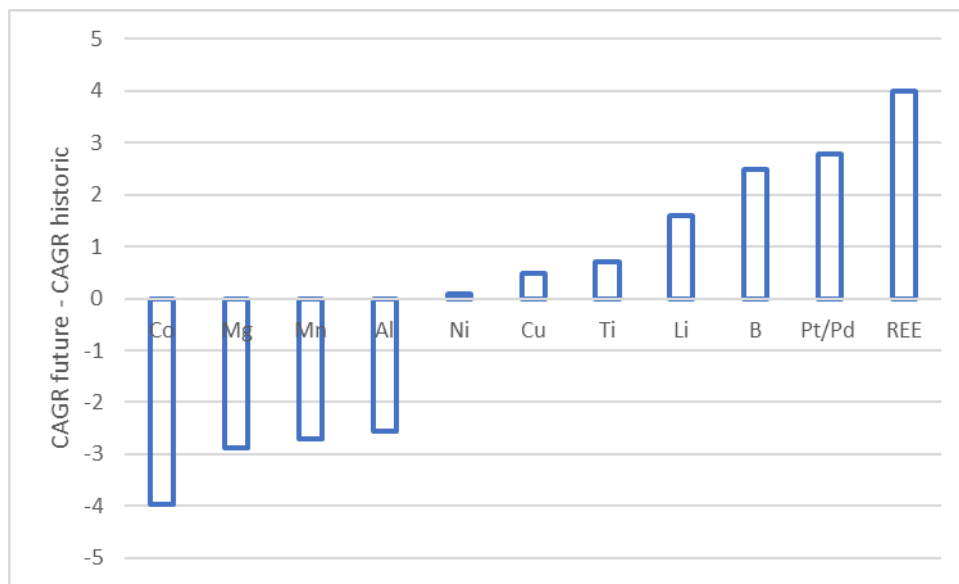
De analyses van kritikaliteit zijn altijd gebaseerd geweest op bestaande mijnbouw- of raffinageproductie. Tegelijk is ook het besef breed gedeeld dat voor tal van grondstoffen met name de vraag vanwege de energietransitie een sterke druk uitoefent op het toekomstige aanbod. We moeten dan denken aan de behoefte aan grondstoffen voor PV-panelen, windturbines, waterstofproductie, batterijen (voor m.n. EV) en vervoer van elektriciteit.

Indien die verwachte toekomstige behoefte niet wordt gedekt heeft dat een stevige impact op de maatschappelijke behoefte, waardoor het een relevante indicator wordt.

Om die toekomstige behoefte in te schatten zijn veel verschillende bronnen en scenario's beschikbaar, zoals de SDS-scenario's die de IEA publiceert (IEA, 2021). In de TNO-studie “global energy transition and metal demand - an introduction and circular economy perspectives” (TNO 2019) is een aantal van die scenario's uitgewerkt en zijn de

consequenties ervan voor de materiaalbehoefte t.o.v. een business-as-usual groei geanalyseerd⁶.

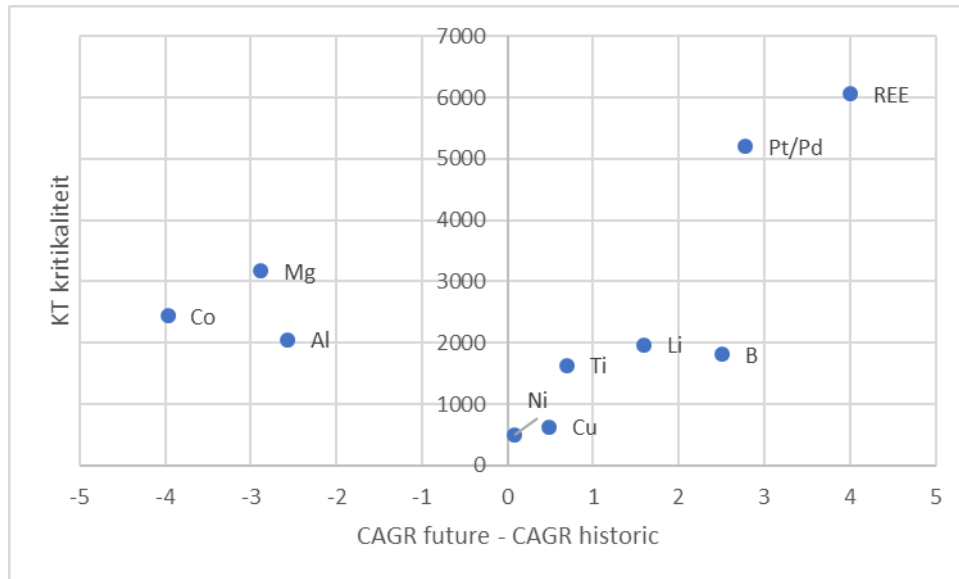
Nu kan gekeken worden naar de verwachte groei van grondstoffen gegeven deze scenario's, maar dergelijke analyses gaan voorbij aan het feit dat de mijnbouwindustrie gegeven de algemene economische groei en de groeiverwachtingen voor genoemde technologieën al stelselmatig zorgt voor een groei in aanbod. Daarom heeft TNO in genoemde studie ervoor gekozen de historische groei te vergelijken met de verwachte noodzakelijke groei indien de onderzochte energie-ambities moeten worden waargemaakt. Deze historische en verwachte groei is vervolgens uitgedrukt in de zogenaamde Compound Annual Growth Ratio (CAGR), die de jaarlijkse exponentiële groeifactor geeft voor zowel de historische groei als de geambieerde groei. In Figuur 9 wordt een noodzakelijk geachte groei vergeleken met de historische groei. Voor een aantal grondstoffen lijkt de situatie wat betreft de groei geen enorme eisen te stellen: de historische groei van de afgelopen decennia overtreft de groei a.g.v. de energietransitie (inclusief de 'normale' groei a.g.v. de groei van de wereldeconomie). Voor een aantal SRMs zal echter een in de geschiedenis niet geëvenaarde groeisprint moeten worden ingezet. Dit geldt dan vooral voor lithium, koper, boor, nikkel, titaan, platina(groepmetalen) en zeldzame-aardoxides (die een zeer bescheiden groei gaven te zien de afgelopen jaren ondanks de gestegen vraag). De groei van het aanbod van aluminium, mangaan, magnesium en kobalt was de afgelopen jaren al zeer groot. Wat betreft de 'economische impact' zal een grote groei-uitdaging zich vertalen naar een mogelijk grotere maatschappelijke impact



Figuur 9 Noodzakelijke CAGR versus historische CAGR

Wanneer we deze waarden als economische impact-indicator inzetten en uitzetten tegen de korte-termijn-kritikaliteit zoals deze is geïntroduceerd in het eerder genoemde MIDNE-rapport van TNO (zie paragraaf 2.2) ontstaat een beeld van de mogelijke uitdagingen met betrekking tot toekomstige voldoende beschikbaarheid van grondstoffen voor de energietransitie.

⁶ Elmer Rietveld, Hettie Boonman, Toon van Harmelen, Mara Hauck, Ton Bastein, global energy transition and metal demand - an introduction and circular economy perspectives, tno, 2019; de referenties in dat document verwijzen naar de brongegevens voor de groei-aannames



Figuur 10 Benodigde groei van aanbod versus korte termijn kritikaliteit

Deze figuur laat zien dat er een grote toename van het aanbod van REE (zeldzame aardmetalen) en platina vereist is (gegeven het gekozen scenario) en dat deze grondstoffen ook als kritiek worden beschouwd (oftewel: hoog geconcentreerde bronlanden met matige WGI-scores en mogelijke inzet van handelsrestricties). Ook een materiaal als koper (Cu) dient aanzienlijk meer gewonnen te worden, maar wordt als minder kritiek beschouwd. Voor dergelijke grondstoffen is dus een intensieve monitoring van aanbod-ontwikkelingen op zijn plaats.

Het is belangrijk om te realiseren dat deze vorm van kritikaliteitsbeschouwing sterk afhankelijk is van de gekozen scenario's. Naast de al genoemde IEA-studie valt dan te denken aan de volgende publicaties die scenario's presenteren voor toekomstig gebruik

- Fraunhofer (2021): "Rohstoffe für Zukunftstechnologien"⁷
- Eurometaux (2022): "Metals for Clean Energy"⁸
- IEA (2021): "The role of critical materials in the energy transition"⁹
- JRC (2020): "Critical minerals in clean energy transitions"¹⁰
- USGS (2020) "Investigation of U.S. Foreign Reliance on Critical Minerals"¹¹, een studie met een bescheiden component in forecasting
- SCRREEN (2019): D2.3 "report on the future use of raw materials"¹²
- CML (2018): "Expected demand for resources in the Netherlands"¹³

⁷ https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Laufende-Projekte/Rohstoffwirtschaft/Zukunftstechnologien/lp-zukunftstechnologien_node.html

⁸ <https://eurometaux.eu/media/jmxf2qm0/metals-for-clean-energy.pdf>

⁹ IEA, 2021, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>

¹⁰ https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf

¹¹ Investigation of U.S. Foreign Reliance on Critical Minerals—U.S. Geological Survey technical input document in response to Executive Order No. 13953 Signed September 30, 2020 (usgs.gov)

¹² <http://screen.eu/wp-content/uploads/2019/02/SCRREEN-D2.3-Report-on-the-future-use-of-critical-raw-materials.pdf>

¹³ <https://scholarlypublications.universiteitleiden.nl/access/item%3A2953301/view>

3.2 Omvang huidige handelsstromen door Nederland

Relatie met de NGS

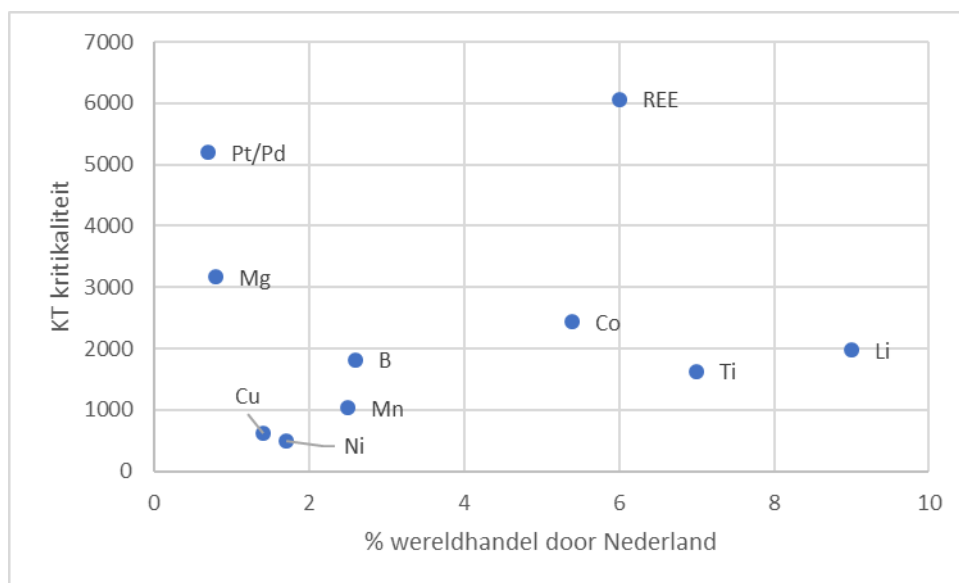
De logistieke rol van Nederland in de wereldeconomie is onderdeel van de nationale identiteit en aldus ook van de NGS. Met diversificatie als een van de vijf handelingsperspectieven speelt het in detail in kaart brengen een rol in de uitvoering van de NGS. Het NGS benadrukt bovendien dat “de controle over kritieke grondstoffen naast een economische steeds meer een geopolitieke dimensie krijgt”. Ook voor diplomatie is het hebben van een rol in handelsstromen dus relevant.

Aanpak en indicatoren

Nederland speelt een bekende rol als knooppunt van wereldwijde goederenstromen. De zeehavens fungeren als poort naar Europa, maar bedienen soms ook nationale industrie. Het exacte percentage van het wereldwijde aandeel van Nederland in goederenstromen kan variëren afhankelijk van de productgroep in kwestie. Gegeven het aandeel van Nederland in de wereldeconomie (net onder 1%) ligt de verwachte materiaalstroom door Nederland rond dat percentage. Als met behulp van de MIDNE koppeling van grondstoffen en productgroepen een analyse wordt gemaakt, blijkt dat Nederland vaak een groter percentage over haar grondgebied (als wederuitvoer, economisch gebruik of finale consumptie) ziet gaan.

Grondstof	% wereldhandel in Nederlands import 2019 (als grondstof, intermediair of finaal product)
Borates	2,6%
Cobalt	5,3%
Copper	1,4%
Gallium	1,2%
Germanium	4,2%
Lithium	23,3%
LREE	4,5%
HREE	3,6%
Magnesium	2,5%
Manganese	0,7%
Natural Graphite	3,0%
Nickel	1,7%
PGM	2,3%
SiliconMetal	2,3%
Titanium	7,8%
Tungsten	10,0%

Wanneer we deze waarden weer uitzetten tegen de korte-termijn-kritikaliteit ontstaat het beeld van Figuur 11.



Figuur 11 Aandeel Nederland in wereldhandel als economische impact-indicator

Voor grondstoffen die in eerste instantie belangrijk zijn voor de Nederlandse economie zoals koper (zie voor vergelijking Figuur 6) blijkt Nederland in relatieve zin een kleine rol te spelen op het wereldtoneel, terwijl de relatieve rol van Nederland rond titanium, kobalt en lithium aanzienlijk lijkt.

Alhoewel de transparantie en het detailniveau van handelsstatistieken regelmatig te wensen overlaten, verdient het aanbeveling in te zoomen op de eventueel bijzondere rol die Nederland speelt rond specifieke handelsstromen. Dit is vanzelfsprekend niet beperkt tot de grondstofstromen zelf, maar geldt ook de grondstoffen, halffabricaten, componenten en finale producten die belangrijk zijn voor de Nederlandse economie.

3.3 Gebruik van Green Taxonomy

Relatie met de NGS

De Green Taxonomy is een beleidsstuk dat voor de financiële wereld antwoord moet geven op een netelige en morele vraag: welke investering past in een duurzame en veerkrachtige Europese economie? Een expliciete referentie naar de Taxonomy is niet aanwezig in het NGS. Tegelijk zijn de drie handelingsperspectieven rondom circulariteit en innovatie, duurzame Europese mijnbouw en verduurzaming internationale ketens afhankelijk van een antwoord op de vraag: welke economische activiteit moet worden ondersteund door ons beleid? Het leggen van de relatie tussen grondstoffen en het economisch belang van de gewenste economische sectoren is aldus relevant. Een voorbeeld zijn de activiteiten die in de Net Zero Industry Act van de EU worden omschreven, maar ook de Nederlandse Groeimarktenstrategie.

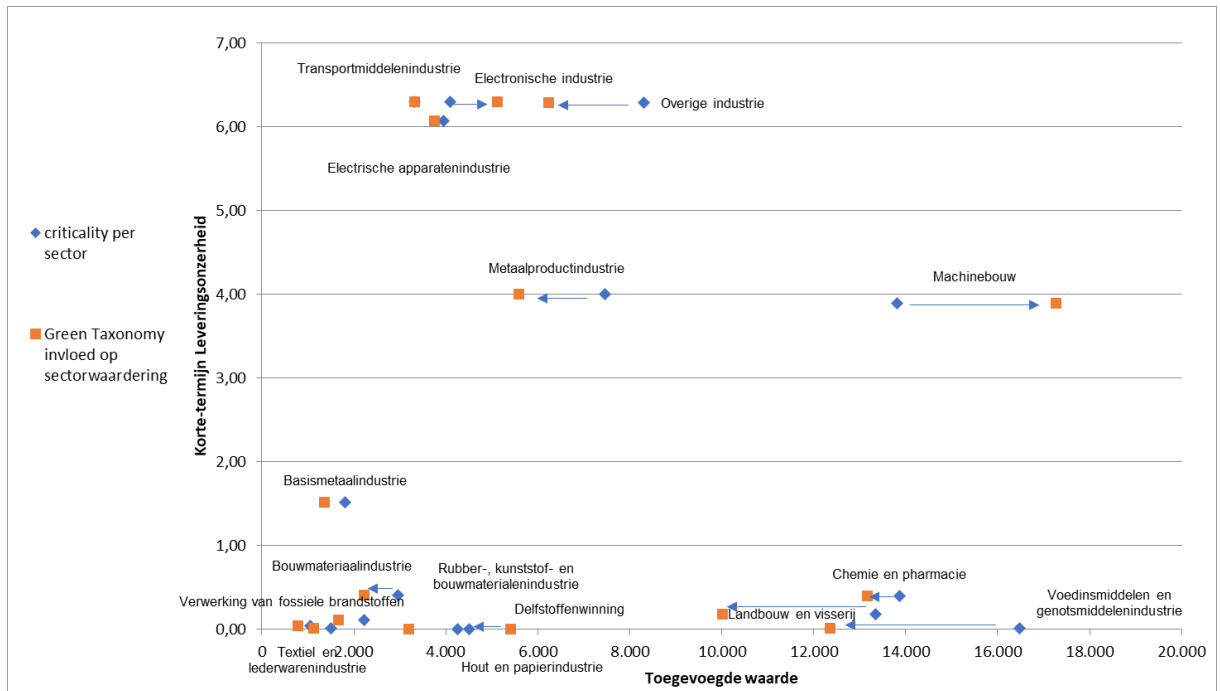
Aanpak en indicatoren

De economische impact kan alternatief worden beoordeeld als een (door beleid geformuleerd) oordeel kan worden geveld over wat “maatschappelijk gewenst” is. Als een sector producten vervaardigt die passen in een “gewenste” toekomst ligt het bijvoorbeeld voor de hand producten ten dienste van de energietransitie meer economische waarde toe te bedelen dan producten die beleidsmatig moeten worden uitgefaseerd. Het is echter niet eenvoudig om dit oordeel uit te spreken. Een mogelijk methode is het gebruik van de longlist zoals beschreven in de Green Taxonomy zoals in 2020 door de EU (TEGSF 2020) gepubliceerd.

De EU-taxonomie is een hulpmiddel om investeerders, bedrijven, uitgevende instellingen en projectpromotors navigeren door de transitie naar een koolstofarme, veerkrachtige en hulpbronnefficiënte economie. De Taxonomie stelt prestatiedrempels vast (ook wel ‘technische screeningcriteria’) voor economische activiteiten die:

- een inhoudelijke bijdrage leveren aan één van de zes milieudoelstellingen (klimaat mitigatie, klimaatadaptatie, reduceren milieuvuiling in water, transitie naar een circulaire economie, reduceren milieuvuiling in het algemeen (lucht-, grond-, oppervlaktewater-, licht- en geluidsvuiling) en behoud, bescherming en restauratie van biodiversiteit);
- geen significante schade toebrengen (Do No Significant Harm) aan de andere vijf, waar relevant;
- voldoen aan minimale waarborgen (bijvoorbeeld de OESO-richtlijnen inzake Multinationale ondernemingen en de leidende beginselen van de VN over het bedrijfsleven en de mensenrechten).

De prestatiedrempels beogen bedrijven en investeerders hun milieuprestaties te verbeteren. Het helpt daarbij om eenduidig te kunnen identificeren welke activiteiten al milieuvriendelijk zijn. De EU-taxonomie wordt gezien als een van de belangrijkste ontwikkelingen op het gebied van duurzame financiering.



Figuur 12 Top 3 producenten van SRMs

In Figuur 12 wordt de impact getoond van het hanteren van een Green Taxonomy vermelding op SBI2 sectoren. Een verschuiving naar rechts betekent een gewenste economische activiteit dus een grotere economische impact. Een verschuiving naar links betekent een overige economische impact en dus een relatief kleinere economische impact. In de taxonomie staan de productgroepen genoemd die als “groen” kunnen worden omschreven. Met een rudimentaire vermenigvuldiging leidt dit tot verschuivingen van de economische waardering van die sectoren op de x-as. De bosbouw en de machinebouw zijn sterk vertegenwoordigd in de taxonomie. Chemische industrie, transportmiddelen, elektronische industrie zijn met enkele productgroepen vertegenwoordigt. Overige sectoren zoals voedingsmiddelen, overige landbouw en bouwmaterialen zijn niet of nauwelijks genoemd.

4 Kwantitatieve leveringsrisico indicatoren, zowel uit EC methode en alternatieve indicatoren

In hoofdstuk 2 bespreken we enkele methodieken en onderliggende indicatoren waarmee in de afgelopen jaren kritikaliteit is bepaald. De methode van de Europese Commissie om kritikaliteit van grondstoffen te bepalen heeft sinds het verschijnen van de CRMA een officiële status. In hoofdstuk 2 zijn de theoretische formules al getoond. Risico's op leveringsproblemen worden in die methode gekwantificeerd op basis van de bronlandconcentratie, de recyclinggraad, de kwaliteit van bestuur en de gehanteerde exportbeperkende maatregelen. In dit hoofdstuk bespreken we concrete uitwerkingen van die indicatoren voor het bepalen van leveringsrisico's. Daarnaast zullen we enkele aanvullende indicatoren introduceren waarmee naar leveringsrisico's gekeken kan worden.

Door de breedte van de in te zetten indicatoren de revue te laten passeren zal het inzicht per indicator toenemen en daarmee ook duidelijk worden dat afhankelijk van belang of belangstelling andere prioriteiten kunnen ontstaan.

In de uitgewerkte voorbeelden zullen we in dit hoofdstuk voor wat betreft de economische impact steeds gebruik maken van de indicator 'Economische Impact op de Nederlandse economie' (EI-NL), zoals die in paragraaf 2.2 is geïntroduceerd.

4.1 Concentratie van mijnbouwproductie

Relatie met de NGS

De NGS stelt: *“Door de aanvoer van (bewerkte) grondstoffen te diversifiëren, verminderen we onze strategische afhankelijkheden en vergroten we onze open strategische autonomie”*. Dit beeld is breed gedragen. Momenteel vindt de winning van veel minerale grondstoffen in slechts een beperkt aantal bronlanden plaats.

Monopolyvorming leidt zonder twijfel tot een verhoging van risico's m.b.t. de leveringszekerheid van grondstoffen. Monopolies leiden tot hogere marktmacht, en de mogelijke effecten daarvan op prijsstelling. Ook leiden monopolies tot portfolio-risico (alle eieren in één mandje). Bepaalde niet perse gecorreleerde risico's (bijvoorbeeld milieurampen) leiden tot een groter leveringsrisico bij grotere regionale concentratie. Om gericht in te kunnen zetten op een diversificatiestrategie en op het stimuleren van Europese mijnbouw, is inzicht nodig in de productieverdeling in bronlanden. Bovendien is die

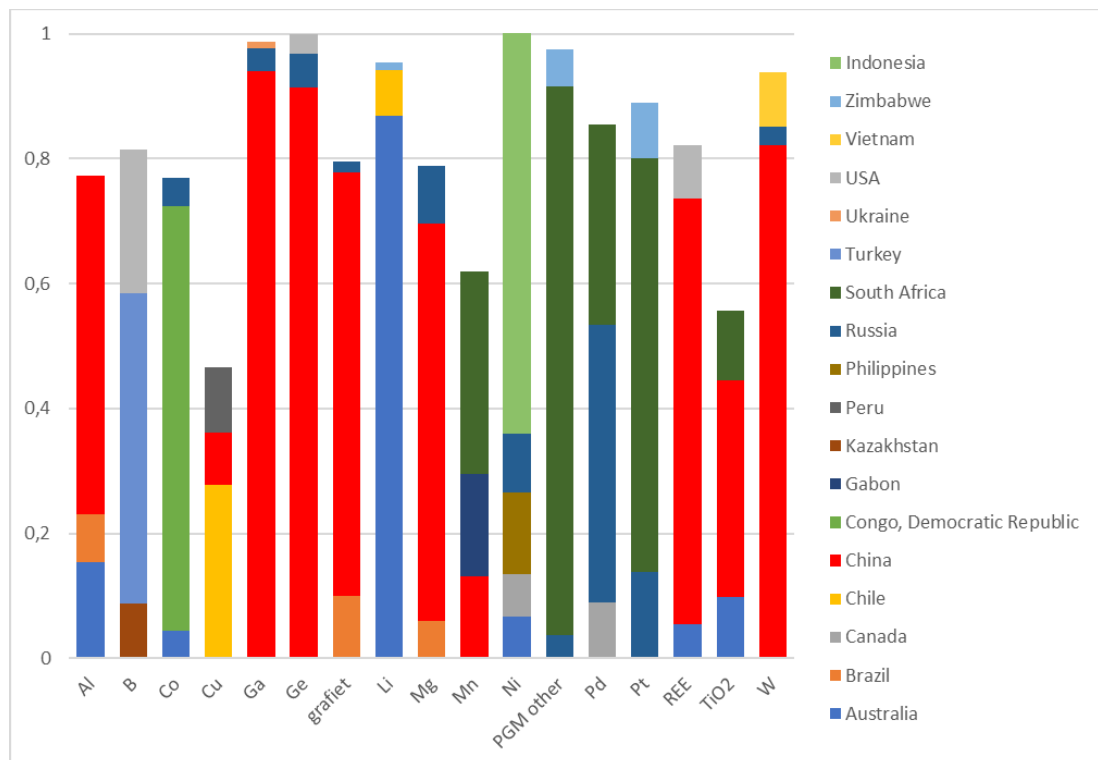
verdeling (gekenmerkt door de HHI (zie hieronder) de belangrijkste parameter in vele kritikaliteitsstudies zoals die van de EU. Voor een juiste interpretatie daarvan is het van belang deze indicator te kennen.

Aanpak en indicatoren

Uit gegevens van geologische diensten zoals de British Geological Survey (BGS) of de USGS (en hun Mineral Commodity Summaries en Yearbooks) blijkt dat voor tal van grondstoffen meer dan 50% uit slechts 3 bronlanden afkomstig zijn. China is overduidelijk een dominante speler. Andere zeer dominante spelers (> 80% van de wereldproductie) zijn Brazilië (voor niobium, Nb) en de V.S. (voor beryllium, Be).

Voor de SRMs zijn de 3 grootste producenten op een rij gezet in Figuur 13. Wat meteen opvalt is dat de top 3 producenten van de metalen koper (Cu) en nikkel (Ni) slechts respectievelijk 46% en 36% produceren (data 2020). Dat is ook de reden waarom deze metalen oorspronkelijk niet als CRM werden geselecteerd. Hun belang voor de energietransitie is de aanleiding voor opname van deze metalen in de lijst SRMs.

Een aantal SRMs hebben een extreme productieconcentratie, zoals gallium (Ga) en germanium (Ge) met meer dan 90% productie in China, PGM (platinagroepmetalen) met ongeveer 90% productie in Zuid-Afrika en lithium met een groot aandeel voor Australië (in 2020). Door de aandacht voor deze grondstof (voor EV-batterijen) verandert dit beeld overigens snel.

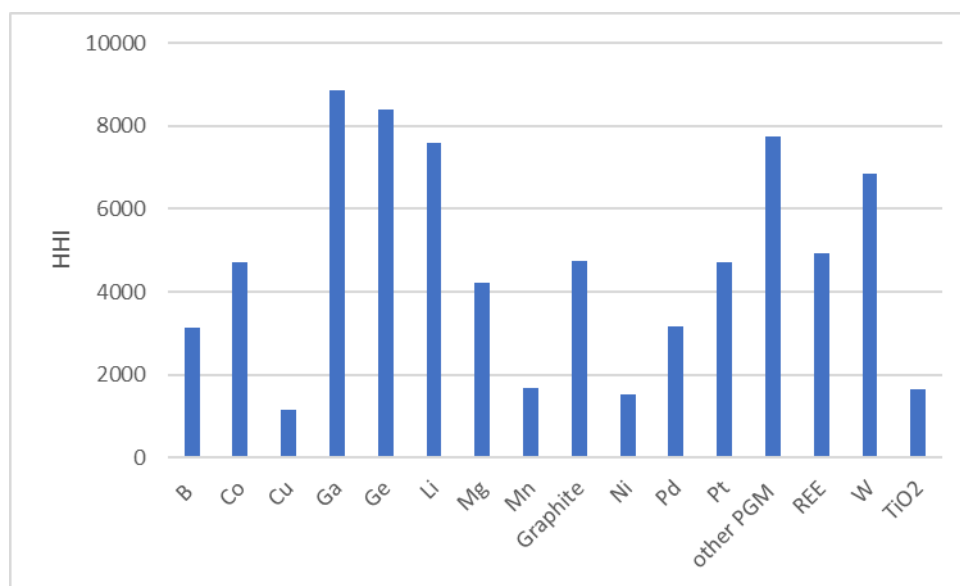


Figuur 13 Top 3 producenten van SRMs

De mate van monopolievorming wordt in de meeste studies uitgedrukt in de zogenaamde **Herfindahl-Hirschman Index (HHI)**, die is opgebouwd uit de optelsom van de kwadraten van de concentratie van winning per bronland. Dit is een gangbare maat voor concentraties

in een bedrijfstak (in dit geval bronlanden). De maximale waarde is derhalve 10.000 (één land produceert 100% van het totale volume).

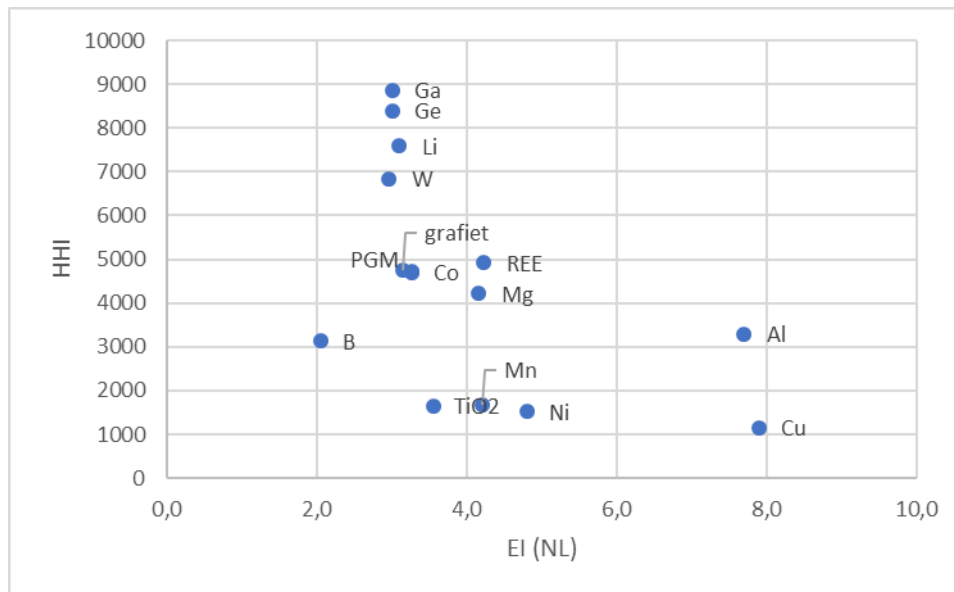
Een beeld van de HHI_{prod} van de SRMs is gegeven in Figuur 14. Een waarde boven de 2500 wordt (althans door de US Federal Trade Commission¹⁴) gezien als hoog-geconcentreerd. Deze waarde wordt voor alle SRMs bereikt behalve voor koper, nikkel, mangaan en titaanoxide (TiO₂). Opmerkelijk is de relatief lage HHI-waarde voor zeldzame aardmetalen (REE): rond 2010 had China vrijwel het monopolie van de winning van deze groep grondstoffen, maar de zorg omtrent misbruik van dat monopolie en het belang ervan voor de energietransitie heeft in de afgelopen 10 jaar veel andere mijnbouwactiviteiten gestimuleerd, bijvoorbeeld in Myanmar, de Verenigde Staten en Australië. Iets soortgelijks vindt momenteel plaats voor lithium.



Figuur 14 HHI voor SRMs, B= boor, Co = kobalt, Cu = koper, Ga = gallium, Ge = germanium, Li = lithium, Mg = magnesium, Mn = Mangaan, Graphite = natuurlijk grafiet, Ni = nikkel, Pd = palladium, Pt = platina, other PGM = rhodium, iridium, osmium en ruthenium, REE = alle zeldzame aarde metalen (scandium, yttrium, lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium), W = wolfram en TiO₂ = titaniumoxide

Figuur 15 toont de resultaten wanneer we deze HHI voor de mijnbouw uitzetten tegen het (directe en indirecte) economisch belang van deze SRMs voor de Nederlandse toegevoegde waarde.

¹⁴ www.justice.gov/atr/public/guidelines/hmg-2010.pdf.



Figuur 15 HHI versus EI(NL)

De figuur toont aan dat het algemene beeld van kritikaliteit niet sterk verandert. De samenhang van toegevoegde waarde (via het aantal producten dat door een bepaalde sector wordt gebruikt) en het leveringsrisico op basis van de landenconcentratie HHI is sterk. Deze samenhang heeft al in grote mate de uiteindelijke kritikaliteit, zoals getoond in paragraaf 2.1, beïnvloed.

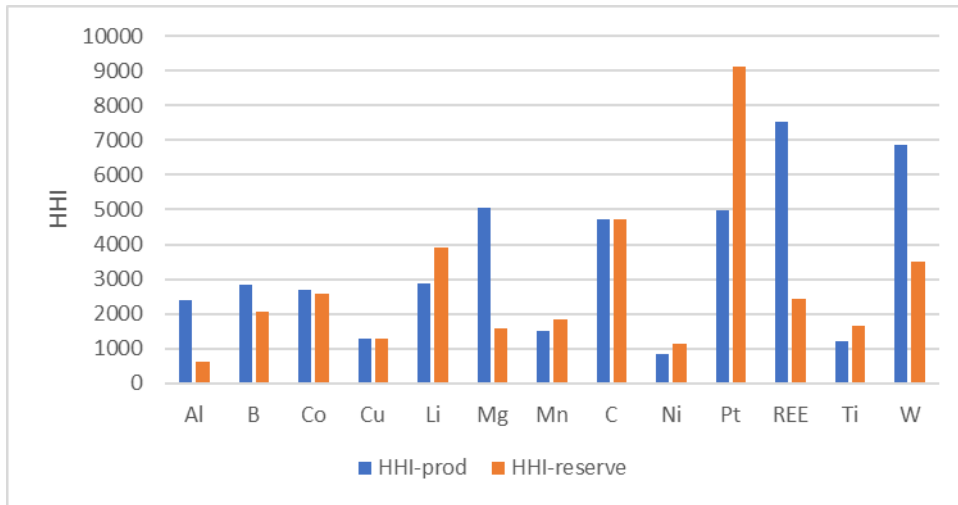
4.2 Concentratie van grondstofreserves

Relatie met NGS

Voor een op de toekomst gericht beleid is het niet voldoende te analyseren wat de huidige productieverdeling van grondstoffen is. Voor een beleid gericht op een toekomstbestendige “Duurzame Europese mijnbouw” en Diversificatie is het ook van belang te kijken naar de potentie van mijnbouw op de langere termijn. Voor een inschatting van mogelijk toekomstige afhankelijkheden (en over een mogelijk veranderende rol voor Europese mijnbouw) kan ook gekeken worden naar de geografische verdeling van de economisch winbare reserves (zoals die gerapporteerd worden in de US GS Mineral Commodity Summaries).

Aanpak en indicatoren

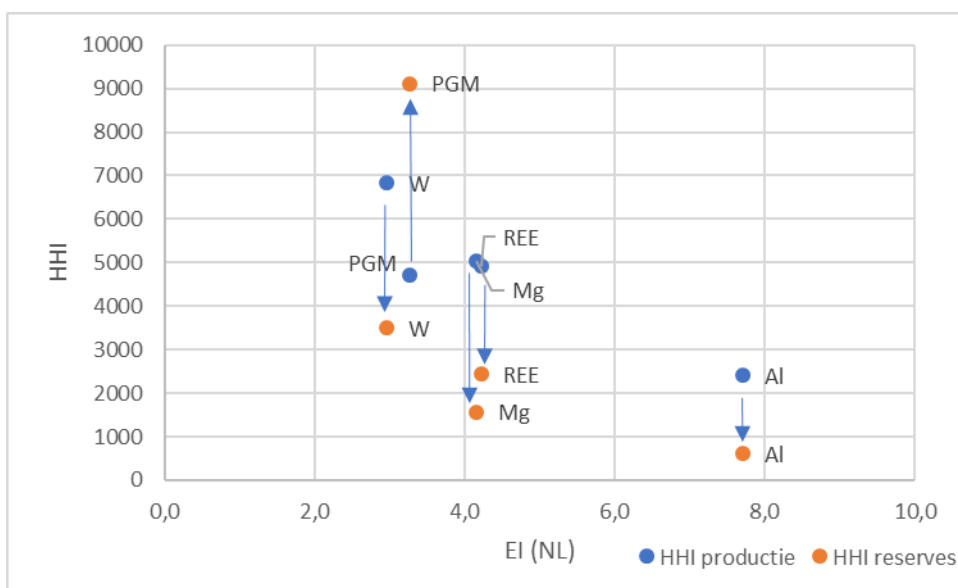
Op basis van de verdeling van reserves die door de USGS worden gepubliceerd kan een HHI worden geanalyseerd die we in het vervolg de HHI_{res} zullen noemen.



Figuur 16 Verschil tussen HHI voor productie en HHI voor bewezen reserves

Voor een aantal SRMs blijkt de inschatting van de HHI en dus de landenconcentratie van de winbare reserves aanzienlijk lager dan voor de huidige productie. Dit geldt bij uitstek voor de aluminium, magnesium, de groep zeldzame aardmetalen, wolfrام, alle grondstoffen met momenteel in de mijnbouwproductie een dominante rol voor China. De enige uitzondering wordt gevormd door platina (en de hele PGM-groep), waarvan de bewezen reserves in met name Zuid-Afrika geconcentreerder zijn dan de huidige mijnbouwproductie.

Wanneer we dit uitzetten tegen de Economische Impact voor Nederland EI(NL) ontstaat Figuur 17. voor de grondstoffen met een groot verschil tussen de geografische verdeling van huidige productie en reserves zijn de HHI's weergegeven. De richting van de pijl geeft aan hoe de kritikaliteit verandert als van productie-analyse wordt overgegaan op analyse van de reserves. Vooral voor de belangrijke groep platina-metalen (inclusief bijvoorbeeld palladium en iridium) neemt de mogelijke bronconcentratie in de toekomst sterk toe. De overige verschillen wijzen op een vermindering van kritikaliteit.



Figuur 17 Verschil tussen productie en reserve versus EI(NL)

4.3 De reserve/productie-verhouding

Relatie met NGS

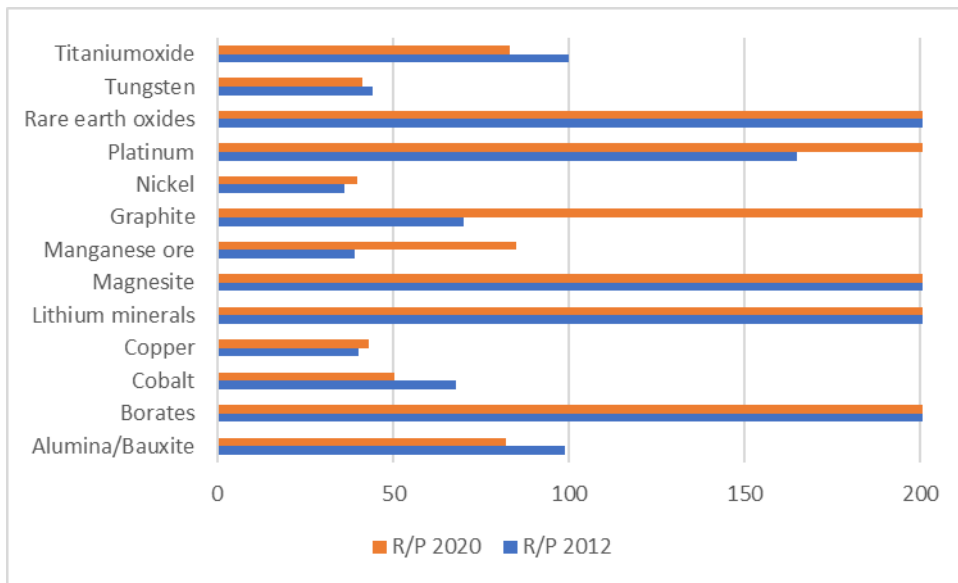
Zoals in paragraaf 4.2 werd betoogd, is inzicht in grondstofreserves relevant voor een op de toekomst gericht beleid. Naast de geografische verdeling van reserves, kan ook de beschikbaarheid van die reserves tot zorgen in het publieke debat leiden ('Raken grondstoffen op?'). In principe zijn voorraden van fossiele en minerale bronnen eindig. Maar de theoretische hoeveelheid te winnen minerale grondstoffen is niet zo relevant in deze discussie. Waar het om gaat is of de combinatie van beschikbare exploratie- en exploitatietechnologie enerzijds en economische realiteit anderzijds leidt tot het winbaar maken van minerale bronnen in voldoende hoeveelheden per tijdseenheid. De inschatting van de wereldwijde reserves is daardoor een complexe en dynamische activiteit. De inschatting van de grootte van de reserves ten opzichte van de (bestaande) behoefte wordt gedaan aan de hand van de zogenaamde R/P-verhouding, de verhouding tussen de bewezen reserves en de jaarlijkse productie.

De R/P-verhouding is een relatief statische indicator die vooral voor overheden tot bewustwording kan leiden t.a.v. toekomstige beschikbaarheid van grondstoffen. Zeker voor grondstoffen die sterk in productievolume stijgen (zoals grondstoffen voor de energietransitie) is het relevant te analyseren of de bewezen reserves in een vergelijkbaar tempo stijgen (oftewel: dat de R/P-verhouding ook in die gevallen min of meer constant blijft). Daarom is zowel de R/P-verhouding in een bepaald jaar als de ontwikkeling daarvan een relevante parameter om als indicator voor leveringszekerheid mee te nemen.

Aanpak en indicatoren

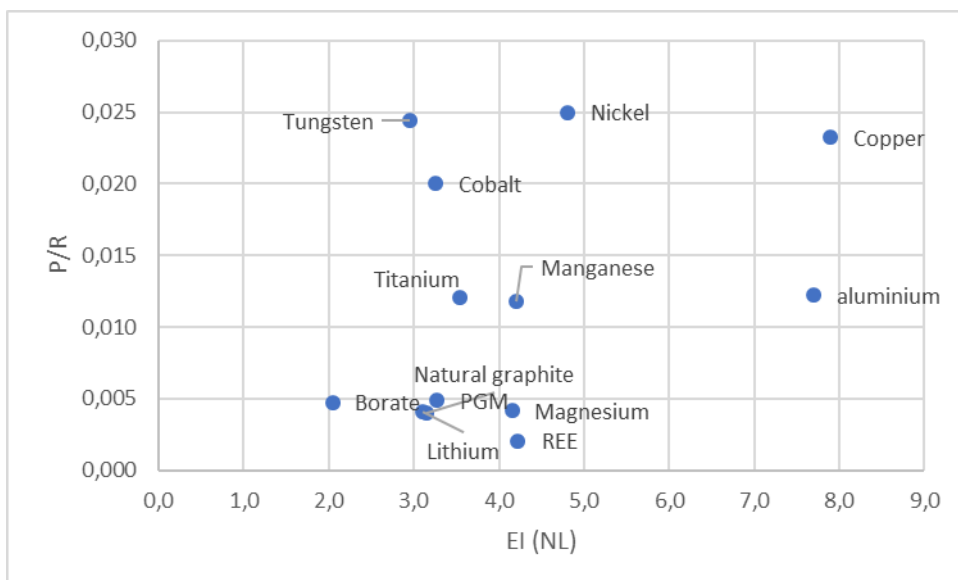
Inschattingen van deze reserves kunnen onder andere worden gehaald uit de US GS Mineral Commodity Summaries.

Van de SRMs waar een R/P-verhouding kan worden berekend, zijn de resultaten gegeven in Figuur 18. In deze figuur zijn de R/P-verhoudingen groter dan 200 niet meegenomen voor verdere analyse: voor tal van SRMs blijkt dat de bewezen voorraad honderden jaren productie toelaat. Voor enkele grondstoffen (grafiet, mangaan) zijn de reserves significant toegenomen, terwijl voor enkele grondstoffen zoals koper, nikkel, wolfram, kobalt en aluminium de R/P-verhouding vrijwel gelijk blijft.



Figuur 18 R/P-verhouding voor SRMs in 2012 en 2020

Om een beeld te geven van de relatie tussen de R/P-verhouding en het (directe en indirecte) belang voor Nederlandse toegevoegde waarde is het illustratiever om de P/R-verhouding als indicator (P/R) te gebruiken. De P/R-verhouding laat zich dan vertalen als het aandeel van de bekende reserve dat per jaar wordt gedolven. Op deze manier zijn hoge waarden voor deze indicator een teken van hoger risico. De resultaten hiervan worden gegeven in Figuur 19.



Figuur 19 P/R-verhouding en belang voor Nederlandse economie voor SRMs

Voor grondstoffen als nikkel, koper en wolfram (tungsten) zijn de bewezen reserves relatief gering. Tegelijk schommelt de R/P-verhouding voor koper al decennia rond de 40 jaar (P/R van ongeveer 0,025), mede omdat het werkelijk bewezen krijgen van reserves via exploratie-activiteiten een kostbare aangelegenheid is die niet bijdraagt aan de beurswaardering van

de betrokken mijnbouwbedrijven. Oftewel: een lage R/P-verhouding is aanleiding voor extra waakzaamheid, maar geen reden voor paniek.

4.4 Concentratie van geraffineerde grondstoffen en verdere schakels in de keten

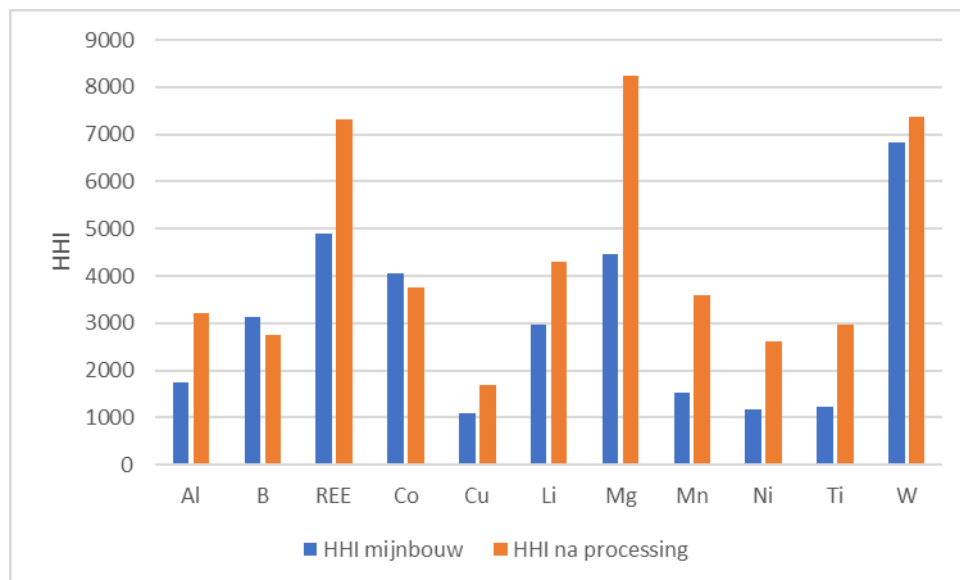
Relatie met NGS

De meeste aandacht in kritikaliteitsanalyses gaat meestal uit naar de situatie m.b.t. grondstoffen. De EC heeft echter al eerder geconstateerd dat de bottleneck in keten ook kan liggen bij de opvolgende stappen, zoals de raffinage-stap. Daarom wordt bij de kritikaliteitsanalyse van de EC voor tal van grondstoffen gekeken naar zowel de mijnbouw- als de raffinage-stap en wordt dat deel van de keten in de verdere analyse meegenomen die de grootste bottleneck vertegenwoordigt ⁷⁵.

Ok de NGS onderschrijft het belang van volgende stappen in de keten en beschrijft ambities op het vlak van het opzetten van raffinage-capaciteit in Nederland. Daarom is inzicht in de knelpunten in productiestappen ná de extractie van belang voor het stellen van beleidsprioriteiten.

Aanpak en indicatoren

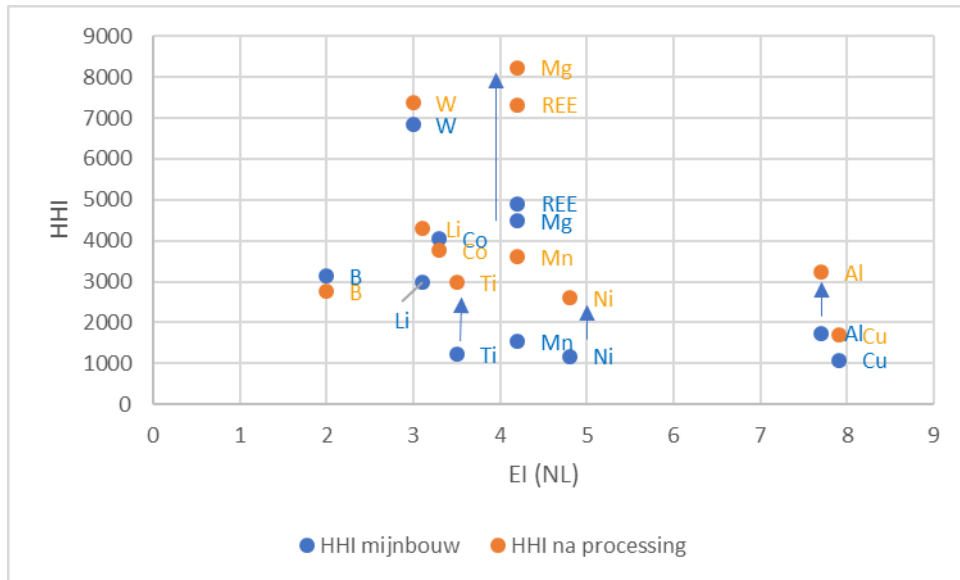
Uit de gegevens van genoemde EC studie is voor een aantal SRMs de landenconcentratie voor de mijnbouw- en de raffinage te berekenen. De resultaten voor deze SRMs eis gegeven in Figuur 20.



Figuur 20 Vergelijking van HHI na mijnbouw- en na raffinage

⁷⁵ Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023, authors Milan Grohol, Constance Veeh, EC

Hieruit blijkt al dat voor aluminium, zeldzame aardmetalen, lithium, magnesium, nikkel en titaan de landenconcentratie voor wat betreft raffinage groter is dan voor de extractie. Het zal niet verbazen dat in elk van deze gevallen China verantwoordelijk is voor de toename van deze concentratie. De consequenties voor de analyse van kritikaliteit zijn gegeven in **Error! Reference source not found.**



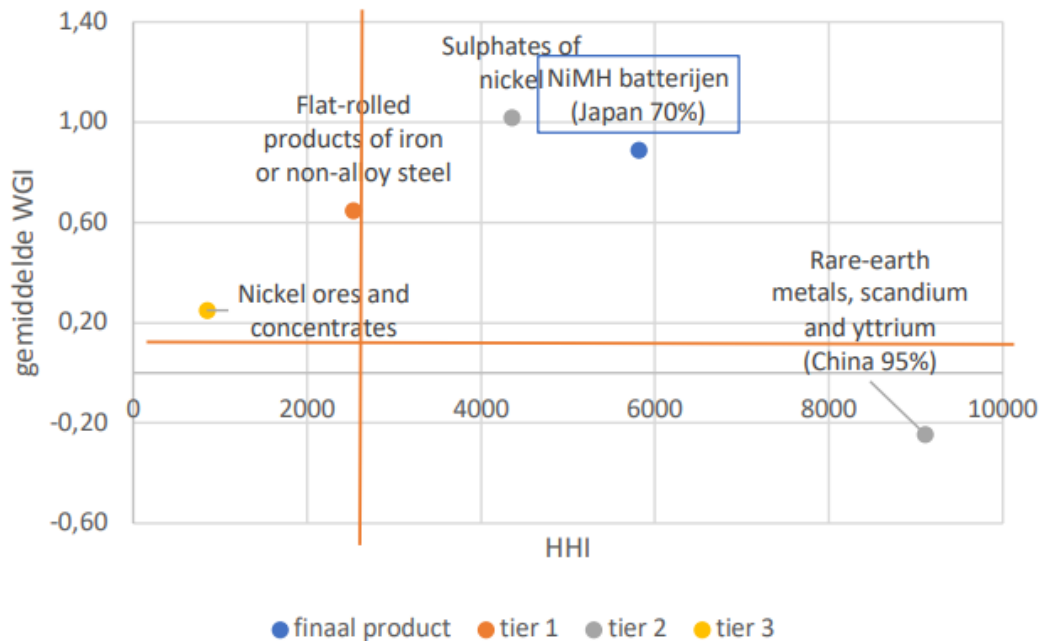
Figuur 21 Beschouwen van raffinage-fase leidt in veel gevallen tot hogere kritikaliteit

De hogere kritikaliteit van geraffineerde grondstoffen is een voorbeeld van de noodzaak om kritikaliteit in de gehele keten te onderzoeken.

TNO heeft in haar recente studie voor het Ministerie van Buitenlandse Zaken de analyse van bottlenecks uitgebreid naar componenten en halffabricaten die door tier-1 en tier-2 producenten worden geleverd aan producenten van finale producten¹⁶.

In dit recente TNO-onderzoek “Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode”¹⁷ is een methode ontwikkeld die op basis van handelsdata (import- en exportgegevens van landen zoals weergegeven in de UN-database Comtrade) en een zoektocht naar tier-1 en tier-2 suppliers van twintig finale producten (waaronder complexe eindproducten, maar ook componenten en chemicaliën met een overzichtelijker leveringsketen), inschattingen heeft gemaakt van bottlenecks in de gehele keten. Deze bottlenecks werden uitgedrukt in enerzijds de bronlandconcentratie (HHI) en anderzijds de gemiddelde WGI-score van deze bronlanden. Een voorbeeld van een dergelijke keten-beschouwing voor het geval NiMH-batterijen is in onderstaande figuur te vinden. In deze analyse is te zien dat de HHI van het finale product ‘NiMH batterijen’ lager is dan van enkele grondstoffen (rare-earths), maar weer hoger dan enkele andere grondstoffen. De zeldzame aardmetalen hebben ook een ongunstiger (in dit geval niet geschaalde) WGI-score dan de finale producten die uit Japan komen.

¹⁶ Ton Basten, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, september 2023



Figuur 22 Keten-analyse voor NiMH batterijen (bron: TNO)

Omdat het in dergelijke gevallen andere stappen in de keten betreft zal een analyse van de economische impact op andere wijze gemaakt moeten worden. In de genoemde TNO-studie is een poging hiertoe ondernomen door te kijken naar netto-omvang van de import van finale goederen.

Het is duidelijk dat er voor daadwerkelijke bottleneck-analyses voor grondstoffen, halfproducten en producten meer en grondiger analyse nodig is om te komen tot een zodanig adequaat inzicht dat beleidsvorming mogelijk wordt. In een op te richten Netherlands Materials Observatory zal onderzoek naar bottlenecks in ketens een voorname plaats innemen.

4.5 De stabiliteit en de kwaliteit van het bestuur van bronlanden weergegeven door WGI

Relatie met NGS

De NGS zet in op diversificatie-strategieën onder andere door afspraken te maken rond handelsakkoorden en partnerschappen. Waar aan de ene kant de mogelijke monopolyvorming van grondstoffen (zie vorige paragrafen) een grote rol speelt bij die beleidsrichting, is de aard van die bronlanden vanzelfsprekend ook van belang. Met welke landen valt een goede relatie te bestendigen en op te bouwen, en over welke landen moeten we ons het meeste zorgen maken als het over een betrouwbare levering van grondstoffen gaat. Mede daarom is in staande EU- en Nederlandse kritikaliteitsanalyses gebruik gemaakt van de zogenaamde World Governance Index WGI. Er zijn overigens andere rangschikkingen beschikbaar, zoals die van “Ease of Doing Business”.

Aanpak en indicatoren

Een gewogen manier om naar de mogelijke nadelige invloed van een hoge bronland-concentratie te kijken is door deze te relateren aan indicatoren die opgesteld zijn om stabiliteit en betrouwbaarheid van degelijke landen als handelspartners in te schatten. De eventueel nadelige invloed van een hoge grondstofconcentratie zou dan groter zijn indien het bestuur in het bronland minder betrouwbaar is. Een veel gebruikte indicator hiervoor is de World Governance Indicator (WGI, aanwijzing voor de vorm van bestuur in een land) (gebaseerd op gegevens van de Wereldbank) van het bronland. Deze WGI-score is niet alleen in te zetten als onderdeel van geaggregeerde indicatoren maar zou ook zelfstandig kunnen dienen als risico-indicator.

De World Governance Indicator is gebaseerd op indicatoren voor 215 economieën¹⁸, waarbij zes bestuur dimensies worden gemeten:

- Verantwoording en meetbaarheid;
- Politieke stabiliteit en afwezigheid van geweld;
- Overheidsefficiëntie;
- Regelgevingskwaliteit;
- Rechtsstatelijkheid;
- Corruptiebestrijding.

Als illustratie voor de betekenis van de WGI staan in onderstaande tabel de 10 bronlanden met de hoogste (ofwel: meest stabiele) WGI-score en de bronlanden met de 10 laagste (<0) scores (NB: bij het gebruik als indicator wordt de WGI-score omgewerkt in een score waarbij de slechtst presterende landen de hoogste score krijgen).

Tabel 4 Hoogste en laagste WGI-scores

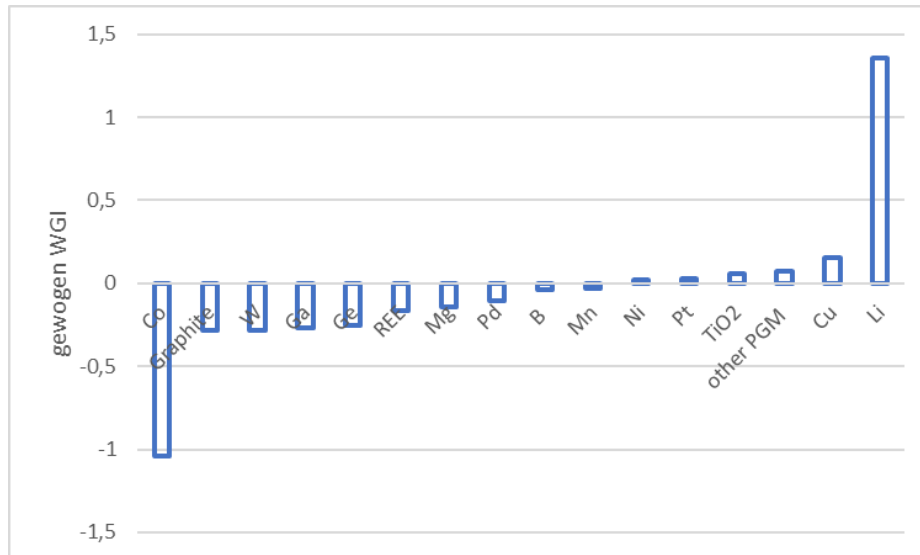
10 beste WGI-scores onder de grondstofleveranciers	10 slechtste WGI-scores onder de grondstofleveranciers
Denemarken	Birma
Finland	Zimbabwe
Zweden	Irak
Noorwegen	Oezbekistan
Australië	Venezuela
Canada	Burundi
Oostenrijk	Guinea
IJsland	Iran
Ierland	Pakistan
Duitsland	Syrië

Een belangrijk land als China heeft een score van -0,59, en komt daarmee op een 21^e plaats, op gelijke hoogte met Kazachstan. De score voor Nederland is (als illustratie) 1,64.

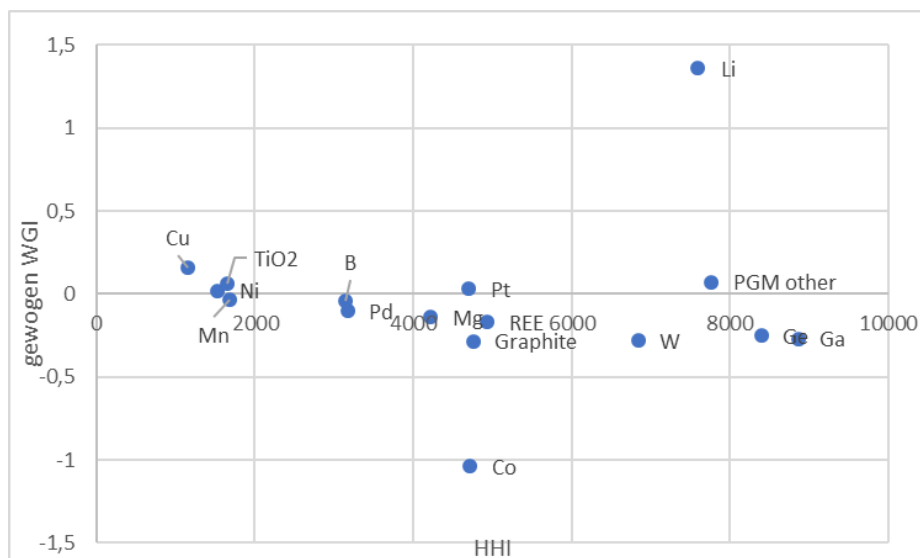
Voor elk van de SRMs is bekend wat de bronlanden zijn en dus is voor elk van deze grondstoffen een gewogen WGI per materiaal te berekenen.

¹⁸ Van <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>: “Deze gezamenlijke indicatoren zijn gevormd door de visies van een groot aantal ondernemingen, burgers en deskundigen als respondenten in onderzoeken in zowel geïndustrialiseerde landen als ontwikkelingslanden te combineren. Zij zijn gebaseerd op 31 afzonderlijke gegevensbronnen die zijn samengesteld door uiteenlopende onderzoeksinstituten, denktanks, niet-gouvernementele organisaties, internationale organisaties en het bedrijfsleven”.

De gewogen WGI voor kobalt (Co) is met afstand het meest ongunstig vanwege het grote aandeel productie uit de D.R. Congo. De WGI-score voor lithium is zo hoog vanwege het grote aandeel van Australië in de productie. Het hoge aandeel van China in de productie van tal van grondstoffen leidt tot een klein negatieve gewogen WGI.



In Figuur 23 is het gewogen gemiddelde WGI voor de mijnbouw fase per SRM uitgezet tegen de HHI_{prod} voor de betrokken grondstof¹⁹. Het moge duidelijk zijn dat een combinatie van een hoge HHI_{prod} met een lage (<0) gewogen WGI bijdraagt aan het leveringsrisico.

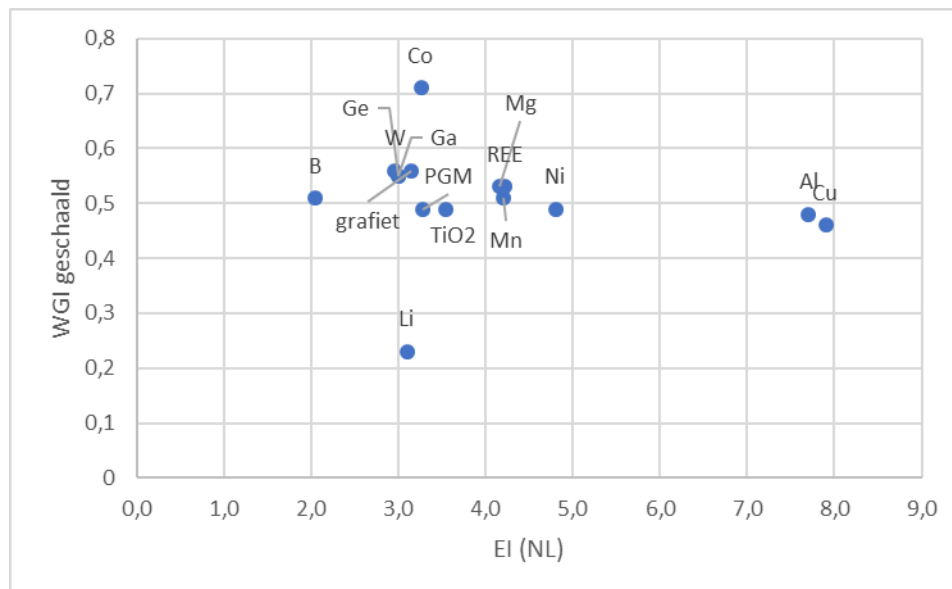


Figuur 23 Gewogen WGI vs. HHI_{prod} ; kwadrant linksboven is: hoge concentratie in landen met lage (=slechte) WGI

¹⁹ Een meer op de mijnbouwinvesteringen gerichte index is de Policy Potential Index (PPI) die jaarlijks wordt opgesteld door het Fraser Instituut op basis van honderden door mijnbouwinvesteerders ingevulde enquêtes. De vragen richten zich op aspecten als onzekerheid in wet- en regelgeving, tariefstelling etc. Alhoewel potentieel een zeer relevante parameter die bovendien sterker is geënt op de mijnbouwsector zal de PPI niet als weegfactor in de huidige studie worden meegenomen: van de 88 landen die een zekere rol spelen in de grondstofvoorziening van de hier bekeken grondstoffen, is de PPI van slechts 42 bekend. Er is dus een onvoldoende dekingsgraad om meegenomen te kunnen worden als indicator voor leveringszekerheid.

De 5 grondstoffen met de hoogste landen-concentratie en een lage (<0) gewogen WGI zijn kobalt, de zeldzame aardmetalen (als groep), wolfram (W), gallium (Ga) en germanium (Ge). Overige metalen met een lage gewogen WGI zijn grafiet en magnesium. Deze negatieve WGI-scores zijn vooral veroorzaakt door het grote belang dat China speelt bij de winning van deze SRMs.

In Figuur 24 is een geschaalde versie van de gewogen WGI weer uitgezet tegen het economisch belang voor Nederland. Deze geschaalde versie is gebruikelijk in kritikaliteitsanalyses, omdat in het algemeen hogere waarden van indicatoren moeten wijzen op een hogere kwetsbaarheid. Daar waar in de Worldbank-systematiek de best presterende landen maximaal +2,5 scoren en de slechtst presterende -2,5 is in de hier gehanteerde systematiek deze schaal omgezet variërend van 0 voor best presterende en +1 voor slechtst presterende landen. Door de dominante rol van China in tal van grondstofketens is de differentiatie onder de getoonde SRMs niet groot. Wel is duidelijk dat kobalt (Co) door de hoge winning in de DR Congo een ongunstiger score heeft, en lithium door het hoge aandeel van Australië in de winning een gunstiger score.



Figuur 24 Geschaalde WGI tegen economisch belang voor Nederland

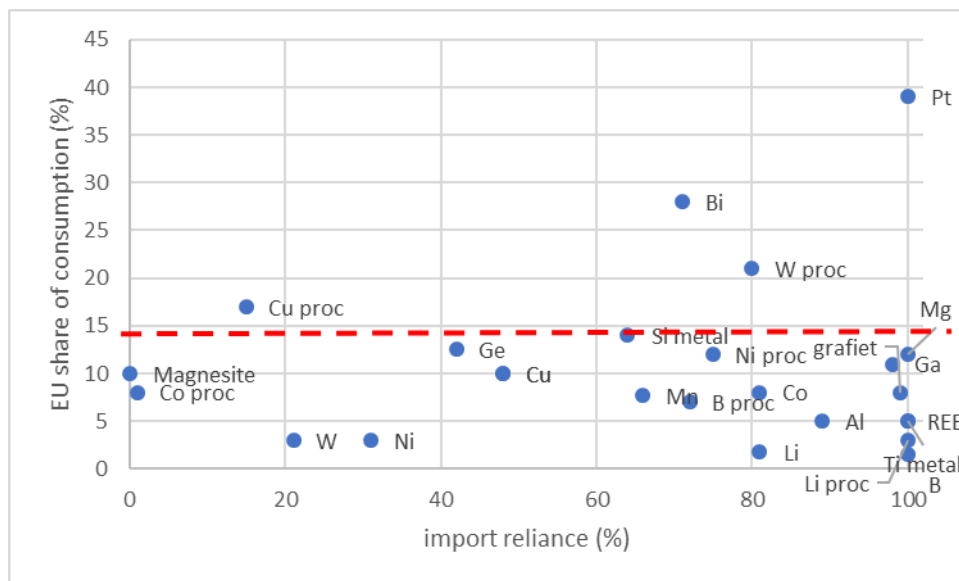
4.6 Concentratie en aard van EU-import

Relatie met NGS

In vorige paragrafen is ingegaan op de concentratie van productie van grondstoffen en bewerkte grondstoffen. Een diversificatie-strategie -zoals deze in de NGS is verwoord- moet rekening houden met deze verdeling van productie. Onze bestaande handelsrelaties weerspiegelen echter niet altijd de wereldwijde verdeling van grondstoffen: de keuze van onze import-partners zal deels afhangen van nabijheid en van de betrouwbaarheid van deze partners. Daarom is het voor een genuanceerder beeld op diversificatiestrategie zinvol om te kijken naar de actuele import-situatie van SRMs.

Aanpak en indicatoren

Op basis van handelsstatistiek (vooral Eurostat Comext) heeft het SCRREEN-project (project door de EU opgezet om factsheets voor kritieke grondstoffen op te zetten en te onderhouden)²⁰ voor tal van grondstoffen de importcijfers van de EU op een rij gezet en op basis daarvan de import-afhankelijkheid van de EU bepaald. Deze kenmerkt zich enerzijds door het aandeel van de EU-import in de wereldhandel en anderzijds door een analyse van de landen waar de EU zijn grondstoffen of bewerkte grondstoffen vandaan haalt. De importafhankelijkheid van SRMs (in enkele gevallen de SRM na raffinage) wordt gegeven in Figuur 25. De rode stippellijn in deze figuur representeert het EU-aandeel in de wereldhandel (BBP) die ongeveer 14% bedraagt.²¹ Voor tal van SRMs is de importafhankelijkheid tussen de 80 en 100% oftewel ver boven de streefwaarde van 60% zoals deze in de CRMA is gesuggereerd.



Figuur 25 Import-afhankelijkheid van SRMs in de EU

Uit de observatie dat het aandeel van de EU in de consumptie beneden de 14% ligt kan afgeleid worden dat de inzet van deze grondstoffen in halffabricaten en finale producten buiten de EU plaatsvindt. De afhankelijkheid is daarmee minder zichtbaar, maar wijst op de noodzaak van onderzoek naar (bottlenecks in) ketens. Tegelijk kunnen we ons afvragen of het inzetten op additionele raffinagecapaciteit voor zulke grondstoffen zin heeft, als klaarblijkelijk de downstream-toepassing niet in Europa plaatsvindt.

Op basis van die landenverdeling van de EU-import kan een vergelijking worden gemaakt met de landenverdeling van productie (zoals geïntroduceerd in paragraaf 4.1) met behulp van de HHI. In Figuur 28 is voor de SRMs die we hier bekijken weergegeven wat de HHI is voor wereldwijde mijnbouwproductie of raffinage (blauwe stip) en voor de EU-import (oranje stip). Slechts voor 3 van de hier bekeken 13 SRMs blijkt de EU-import uit minder landen te komen (dus een hogere HHI te hebben) dan waar de productie plaatsvindt. Bedrijven lijken dus aan diversificatie te doen.

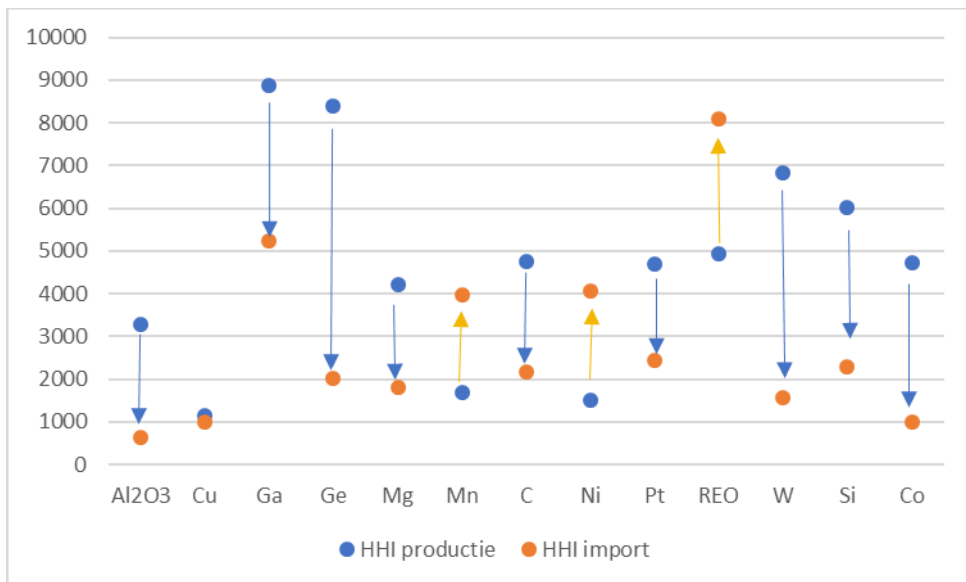
Een dergelijke vergelijking kan ook gemaakt worden voor de aard van de landen waar de EU uit importeert, weergegeven door de gemiddelde (genormeerde) WGI-score van de import van grondstoffen (Figuur 27). Nu blijkt dat zelfs voor 11 van de 13 grondstoffen de

²⁰ [CRMS 2023 - SCRREEN3](https://screen.eu/crms-2023/); <https://screen.eu/crms-2023/>

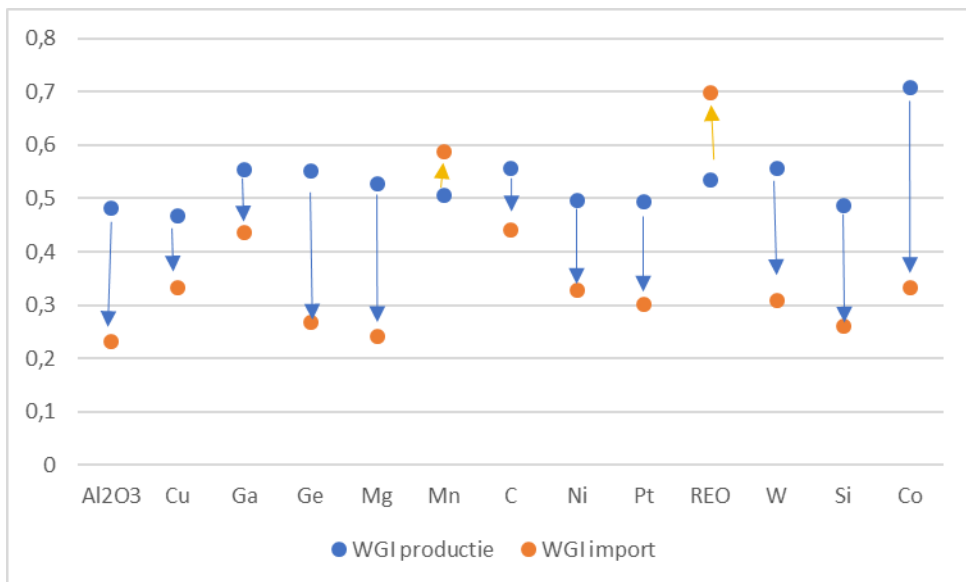
²¹ https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/key-facts-and-figures/economy_nl

gemiddelde WGI-score van de geïmporteerde grondstoffen aanzienlijk gunstiger is dan die van de wereldwijde productie. De diversificatie waarvan sprake was, richt zich dus vooral op landen met een positievere score op de World Governance Index.

Een samenvattend overzicht van de verschillen tussen wereldwijde productie en de EU-import is gegeven in Tabel 5: voor vrijwel alle bekeken SRMs geldt: de EU-import is gediversifieerder en afkomstig uit landen met een stabielere rechtstaat.



Figuur 26 Vergelijking van de HHI van productie met de HHI van de EU-import



Figuur 27 Vergelijking van de gemiddelde WGI van productie met die van de EU-import

Tabel 5 HHI en WGI van wereldwijde productie en van EU-import

	HHI		WGI	
	HHI2020	import EU	productie	import EU
Al2O3	3290,743	634	0,481089	0,230849
Cu	1149,446	999	0,468329	0,332701
Ga	8866,487	5222	0,553984	0,436521
Ge	8392,878	2034	0,550638	0,267827
Mg	4221,204	1795	0,527855	0,241714
Mn	1677,78	3959	0,506399	0,586936
grafiet	4759,814	2163	0,557261	0,44181
Ni	1522,928	4049	0,496044	0,327191
Pt	4701,353	765	0,493546	0,300969
REO	4928,479	8094	0,533507	0,698911
W	6838,217	1566	0,556391	0,307768
Si	6030	2291	0,485425	0,260561
Co	4713,798	999	0,707919	0,332701

4.7 Prijsvolatiliteit

Relatie met NGS

Prijsvolatiliteit kan bijdragen aan een hoger aanbodrisico. Sommige grondstoffen hebben de afgelopen jaren een turbulente prijsontwikkeling doorgemaakt. Hoewel de redenen voor prijsontwikkelingen en prijsvolatiliteit talrijk kunnen zijn, zou men kunnen stellen dat gespannen markten gevoeliger zijn voor verhoogde prijsvolatiliteit. Daarbij kan worden verondersteld dat een hoge prijsvolatiliteit investeerders afschrikt, hetgeen vanzelfsprekend op termijn ook weer bijdraagt aan een hoger leveringsrisico.

Aanpak en indicatoren

Alhoewel prijsvolatiliteit aandacht krijgt in de zogenaamde factsheets die te vinden zijn op de website van het SCRREEN-project maakt het echter geen deel uit van de huidige EU-CRM-methodologie.

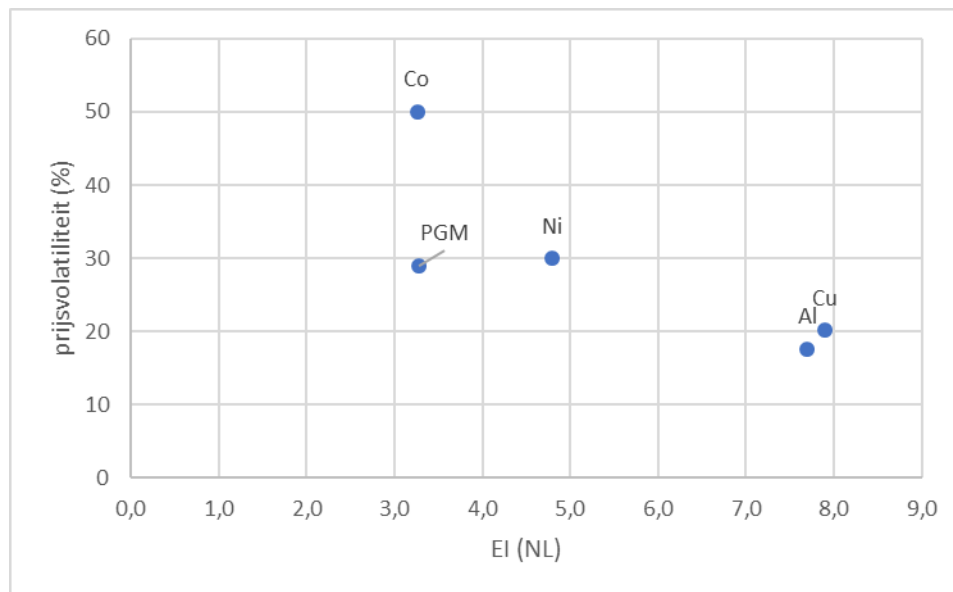
Prijsvolatiliteit kan op veel verschillende manieren worden uitgedrukt. Voor het huidige doel kijken we naar de maximale jaarlijkse volatiliteit (MAV) zoals deze is af te lezen uit de gegevens die worden gepubliceerd door DERA onder de naam Rosys²². Vanwege de beperkte beschikbaarheid van gegevens op deze website nemen we in onderstaande tabel ook gegevens op van enkele grondstoffen die niet onder de SRMs gerekend worden.

²² [BGR - Rohstoffinformationssystem \(deutsche-rohstoffagentur.de\)](https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/ROSYS/rosys_node.html); https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/ROSYS/rosys_node.html

Tabel 6 Prijsvolatiliteit van enkele grondstoffen (bron:DERA/Rosys)

Grondstof	Maximum Annual Volatility (MAV) tussen 2015 en 2020
Cobalt	50,0
Nickel	30,0
PGM	29,0
Zinc	24,1
Tin	20,8
Copper	20,2
Aluminium	17,6
Gold	14,4

De voor de economie zeer belangrijke metalen als aluminium en koper kenden in deze tijd de geringste prijsvolatiliteit, terwijl een materiaal als kobalt (toenemende vraag uit onstabiele regio) een aanzienlijke hogere volatiliteit te zien gaf.



Figuur 28 Prijsvolatiliteit van enkele SRMs vs. EI (NL)

Prijsvolatiliteit is een (de naam zegt het al) snel fluctuerende parameter. Alhoewel de aanleidingen voor prijsstijgingen complex kunnen zijn, zou zeker overwogen moeten worden deze indicator voor een groot aantal grondstoffen (en bij voorkeur ook geselecteerde bewerkte grondstoffen en voor de economie relevante componenten) te monitoren. Dit dient zowel een korte termijndoel (welke bedrijven krijgen last van deze fluctuaties) als een langere termijndoel (wat zijn de consequenties van volatiliteit voor investeringen in - bijvoorbeeld- mijnbouw).

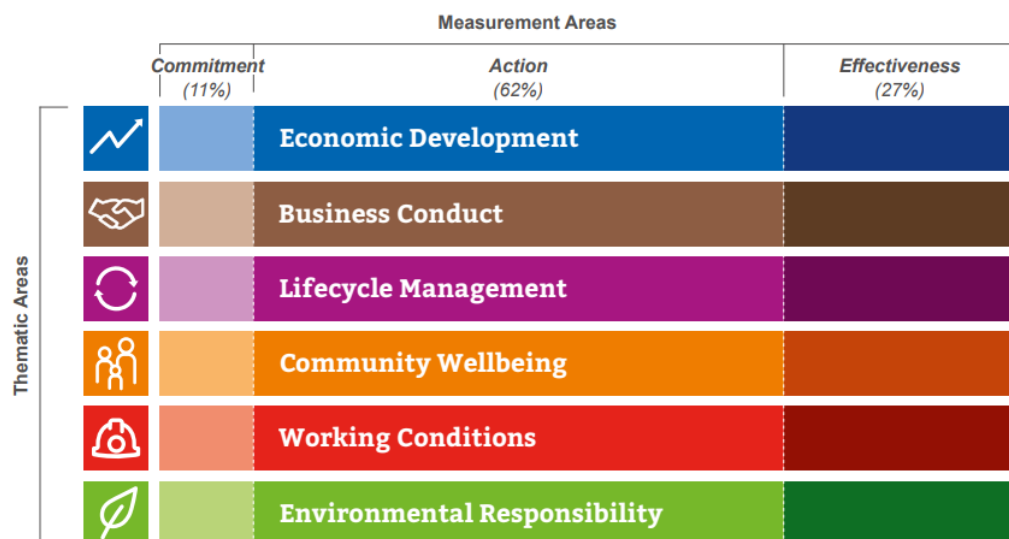
4.8 De sociale impact van grondstofwinning: IMVO

Relatie met de NGS

Uit de NGS blijkt de ambitie van de Nederlandse overheid een bijdrage te leveren aan Internationaal MVO-beleid en het stimuleren van verantwoorde mijnbouwpraktijken. De overheid wil dit o.a. gaan doen door in te zetten op specifieke partnerschappen, financieel bij te dragen aan duurzame grondstofwinning en bij te (blijven) dragen aan verschillende internationale initiatieven die de mijnbouwindustrie moet helpen hervormen (zoals de EITI, Climate Smart Mining en de European Partnership for Responsible Minerals). Inzicht in de (ontwikkeling van de) bestaande praktijken ondersteunen deze beleidsambitie.

Aanpak en indicatoren

Brede dekking van alle mijnbouwactiviteiten en hun prestaties op het gebied van ESG is niet eenvoudig beschikbaar. Een initiatief dat zeer veel data verzamelt van de grootste mijnbouwbedrijven is de Responsible Mining Index²³ die wordt opgesteld door de Responsible Mining Foundation (Zwitserland). De RMI is opgebouwd uit een groot aantal indicatoren die tot een score leiden op elk van de volgende aspecten van de grootste 40 mijnbouwbedrijven ter wereld:



Figuur 29 Opbouw van de RMI

De RMI verzamelt gegevens over het gedrag op bovenstaande aspecten voor in totaal 34 mijnbouwbedrijven die meer dan 1000 mijnen in 57 landen opereren. Van deze bedrijven wordt het volgende gerapporteerd:

- Bedrijfsstatus en omzet
- Prestaties op elk van de genoemde indicatoren
- Ongelukken op de mijnbouwlocaties

²³ [Responsible Mining Foundation - RMF](https://www.responsibleminingfoundation.org/): <https://www.responsibleminingfoundation.org/>
Het RMF heft overigens recent haar taken neergelegd.

- Specifieke aanduiding van de locaties van de mijnen en de daar gewonnen commodity's

Via met name dat laatste aspect kan een verband worden gelegd tussen de gezochte ESG-indicatoren en de specifieke grondstoffen (in ons voorbeeld hieronder SRMs) waar deze mijnbouwbedrijven bij zijn betrokken.

Wanneer we alleen kijken naar de rapportage gerelateerd aan de SRMs (zonder koper) ontstaat het beeld van Tabel 7. Glencore blijkt bij de meeste SRM-winning betrokken te zijn (NB: het aantal mijnbouw locaties waar deze bedrijven actief zijn per land is niet in dit overzicht opgenomen, maar is wel te vinden op de RMI-website).

Tabel 7 Betrokkenheid van mijnbouwbedrijven bij winning van SRMs

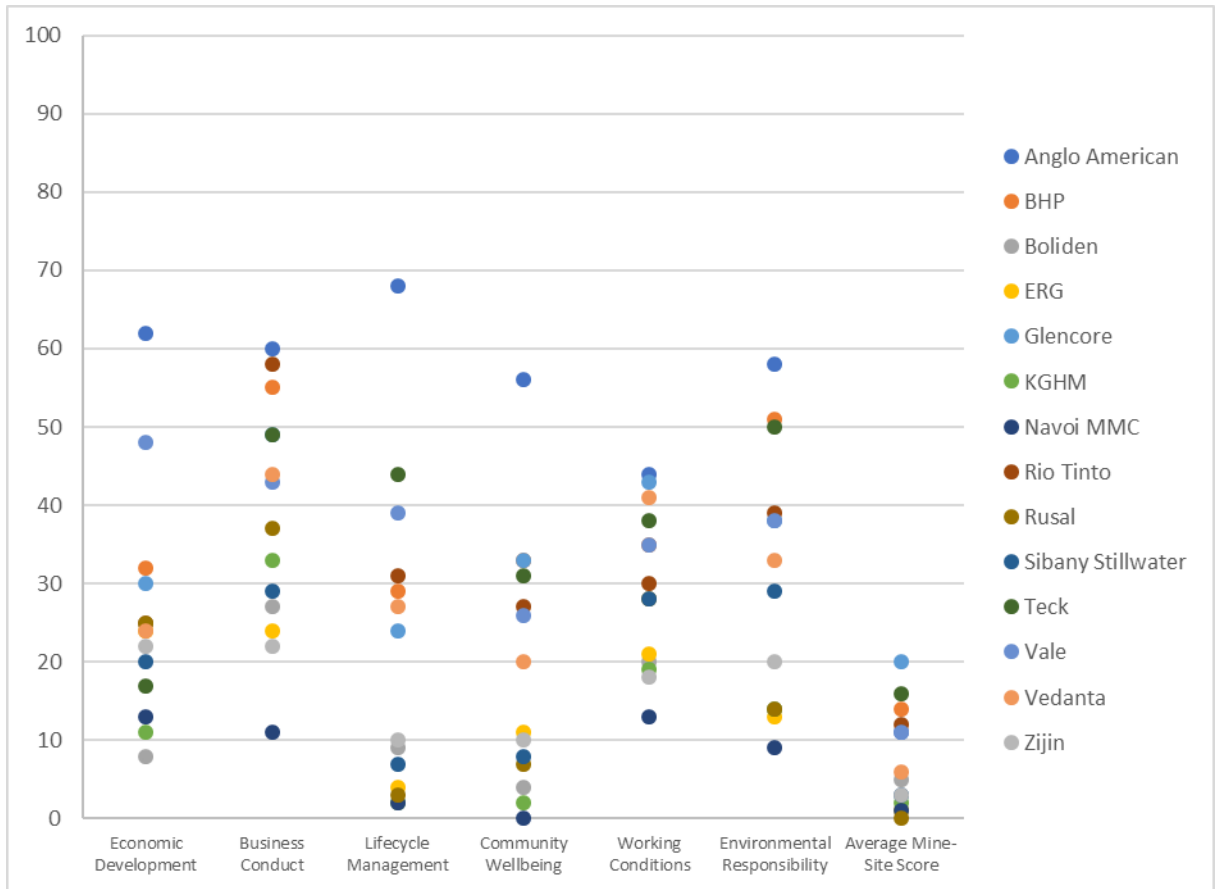
	Al	B	Bi	Co	Mn	Ni	Pt	W	Totaal
Anglo American						1 BRA	2 SAF		3
BHP			1 PER			1 AUS			2
Boliden						1 FIN	1 FIN		2
ERG	1 KAZ			1 DRC	1 KAZ				3
Glencore			1 PER	3 AUS CND DRC	1 KAZ	3 AUS CND New Caledonia	1 CND		9
KGHM						1 CND	1 CND		2
Navoi MMC								1 UZB	1
Rio Tinto	1 USA	1 USA							2
Rusal	3 RUS GUI JAM								3
Sibany Stillwater							3 USA SAF ZIM		3
Teck			1 PER						1
Vale	1 BRA			2 CND IDN	1 BRA	3 BRA CND IDN	1 CND		8
Vedanta	1 IND			1 ZAM					2

Zijin								1 CHN	1
Totaal	7	1	3	7	3	10	9	2	42

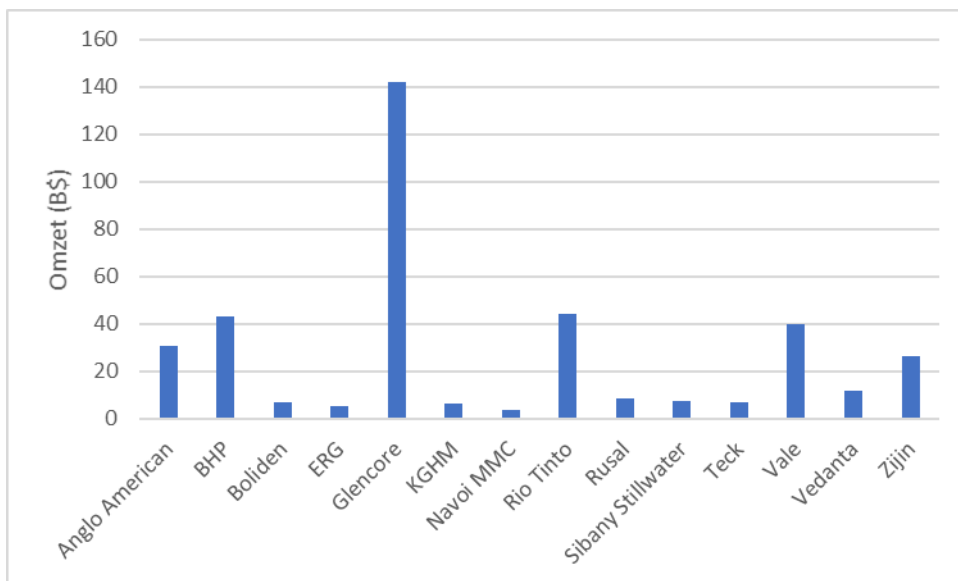
Wat niet is terug te vinden via de RMI is de dekking van de mijnbouw van deze SRMs. Op het eerste gezicht is de vrijwel complete afwezigheid van Chinese locaties veelzeggend: de prestaties van mijnbouwbedrijven in China en daar buiten wordt dus niet gemonitord door RMI (afgezien van de wolfram-winning door Zijin) terwijl China voor tal van SRMs een dominante producent is (zie Figuur 13).

Om de relatie met ESG-gedrag te leggen kan voor elk van de genoemde mijnbouwbedrijven gekeken worden naar de overkoepelende prestaties op elk van de in Figuur 29 aangegeven indicatoren. Dan ontstaat het beeld dat geschetst wordt in Figuur 30. Daar waar het grootste bedrijf van allemaal (Glencore, zie Figuur 31) op 6 van de 7 indicatoren het beste scoort valt vooral de enorme spreiding op tussen de verschillende mijnbouwbedrijven. Dat betekent dat voor IMVO- en internationaal ESG-beleid de actuele prestaties van betrokken mijnbouwbedrijven allicht een betere of op zijn minst complementaire indicator is dan prestaties van het bronland, zoals bijvoorbeeld aangegeven m.b.v. de World Governance Index (zie paragraaf 4.8).

Om het internationale beleid van de Nederlandse overheid vorm en richting te helpen geven kan het overwogen worden een bijdrage te leveren aan organisaties zoals de RMF opdat de dekking van deze analyses hoger wordt. Want die dekking per materiaal laat nog te wensen over.

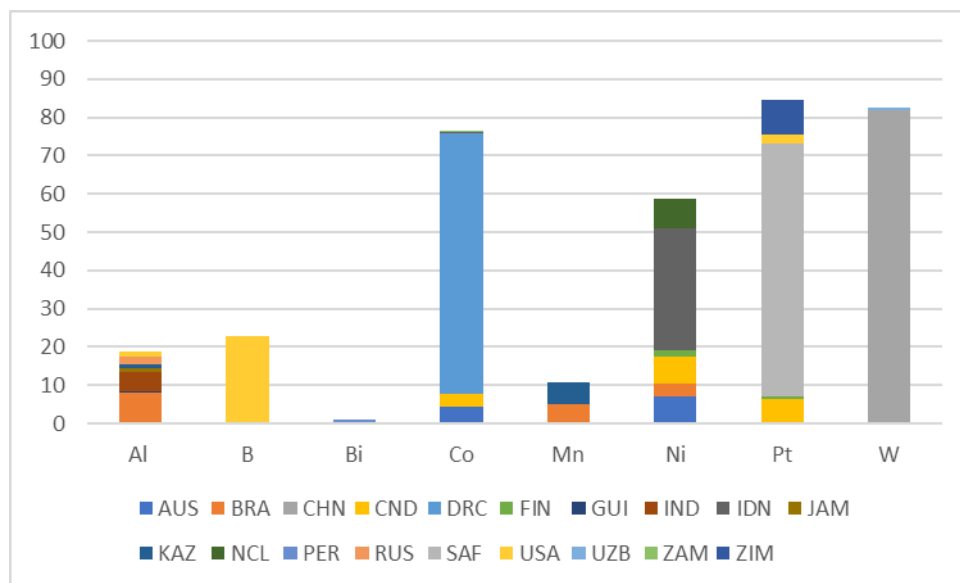


Figuur 30 Prestaties mijnbouwbedrijven op RMI-indicatoren



Figuur 31 Omzet van meegenomen mijnbouwbedrijven

We melden de vrijwel complete afwezigheid van China als bronland al. Maar die lage dekkingsgraad geldt voor meer van de hier bekeken SRMs. Op basis van de gemelde activiteiten kan voor elk van de genoemde SRMs de maximale dekkingsgraad worden aangegeven op basis van het aandeel van een bepaald land in de wereldproductie op basis van gegevens van de USGS en BGS (de maximale dekkingsgraad is het aandeel van de genoemde landen in de totale productie; zie Figuur 32). Slechts voor platina, wolfram (onder de aanname dus dat Zijin deze gehele productie voor zijn rekening neemt) en kobalt zou de RMI meer dan driekwart van de wereldproductie kunnen beslaan. Voor de overige SRMs is dat aanzienlijk minder.



Figuur 32 Maximale dekkingsgraad SRMs via rapportages uit RMI

4.9 De milieu-impact van grondstofwinning

Relatie met de NGS

Uit de NGS blijkt dat de overheid zich zorgen maakt om de milieu-impact van mijnbouw. Deze zorg om de milieuconsequenties van grondstoffen is één van de aanleidingen om in de NGS in te zetten op het stimuleren van een meer circulaire omgang met finale producten. Ook het streven naar ‘Duurzame Europese mijnbouw en raffinage’ staat in het teken van het mogelijk verminderen van de milieudruk van grondstofwinning. Tenslotte is het handelingsperspectief ‘Verduurzaming internationale ketens’ ook ingegeven door de wens om de milieu-impact van winning buiten Europa te verkleinen. Zo wordt onder andere gesteld dat het kabinet zal ‘Inzetten op nieuw ondersteunend onderzoek zoals analyse van de verschillende sociale- en milieurisico’s in alle kritieke grondstoffenketens.’

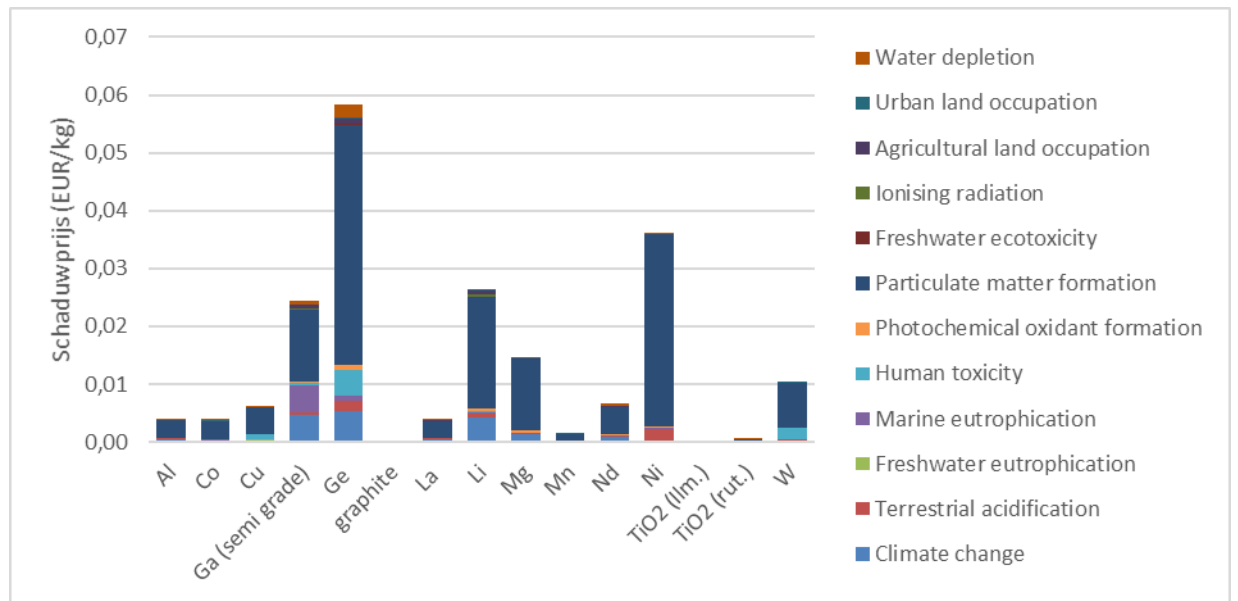
Inzicht in de milieu-impact van grondstoffen is ook relevant voor bedrijven die zich in het kader van de CSRD (Corporate Social Responsibility Directive) dienen te verantwoorden voor de milieu-impact in hun toeleveringsketen.

Aanpak - indicatoren

In het (inmiddels vaak aangehaalde) MIDNE-rapport is met behulp van LCA-methodiek een beeld geschetst van de milieu-impact van de winning van grondstoffen. Bij die analyse werden alle in- en outputs van het volledige winningsproces van een grondstof (gewogen) opgeteld, onderverdeeld in verschillende milieueffecten, om uiteindelijk de totale

milieubelasting te bepalen. De meegenomen outputs zijn emissies naar bodem, water en atmosfeer en afval (de Haes & Lucas 2024). Bij deze analyse werd nog geen rekening gehouden met de verschillen tussen regio's en de verschillende winningsmethodes. Voor een betere 'guidance' van te voeren (internationaal) beleid is een dergelijk detail wel aan te raden.

De resultaten van deze analyse zijn weergegeven in Figuur 33



Figuur 33 Milieu-impact van SRMs (zonder platina) (bron: MIDNE/TNO)

De grootste bijdrage aan deze milieu-impact wordt in alle gevallen gevormd door 'particulate matter formation', een gevolg van de emissie van stoffen als SO₂ en NH₃ naar de atmosfeer. Overigens is de bijdrage van platina (en de PGM) buiten deze figuur gehouden omdat de bijdrage van platina alle andere in de schaduw stelt (totale schaduwprijs van platina 33 EUR/kg, vergeleken met 0,06 voor de op een-na-hoost scorende grondstof germanium).

Vanwege dit enorme verschil is het met de nu beschikbare gegevens niet zinvol om milieu-impact van grondstofwinning in deze vorm mee te nemen in risico-analyses. Daarbij is de eventuele milieu-impact van grondstoffenwinning en goederen waarin deze grondstoffen verwerkt worden (en dus onze scope-3-milieu-impact) groter dan die van de grondstoffen alleen.

Om invulling te geven aan de ambities om bij te dragen aan vermindering van de milieu-impact van grondstofwinning zou gekozen kunnen worden voor een speciale aandacht voor grondstoffen waar Nederland een belangrijke rol speelt bij handel en verwerking, en voor inzet op benchmarking, oftewel: minder focus op de absolute milieu-bijdrage, maar op het stimuleren van de inzet van Best Available Technologies met betrekking tot de milieu-impact van winning en raffinage.

5 Naar een alternatieve benadering van kritikaliteit

Tot zover is de titel van het rapport eer aan gedaan, doordat verschillende manieren zijn besproken om grondstofkritikaliteit te beoordelen. Maar de vraag blijft: “wat is kritiek?”. Dit hoofdstuk geeft daarmee invulling aan de observatie dat grondstoffenbeleid een onderdeel is van een bredere industriële strategie. Grondstofkritikaliteit is immers zelden relevant alleen vanwege de grondstoffen. De afhankelijkheden die een grondstof kritiek maken hebben bijna altijd betrekking op de producten waarin ze gebruikt worden, de sectoren die de producten maken en de samenleving die de producten gebruikt.

In alle onderstaande paragrafen is een tabel toegevoegd waarin datasets en indicatoren zijn geconcretiseerd. In het geval van een licentie wordt gesproken, worden leveranciers zoals Factset, Bloomberg, S&P (Panjiva), Wood & McKenzie en de Raw Materials Group.

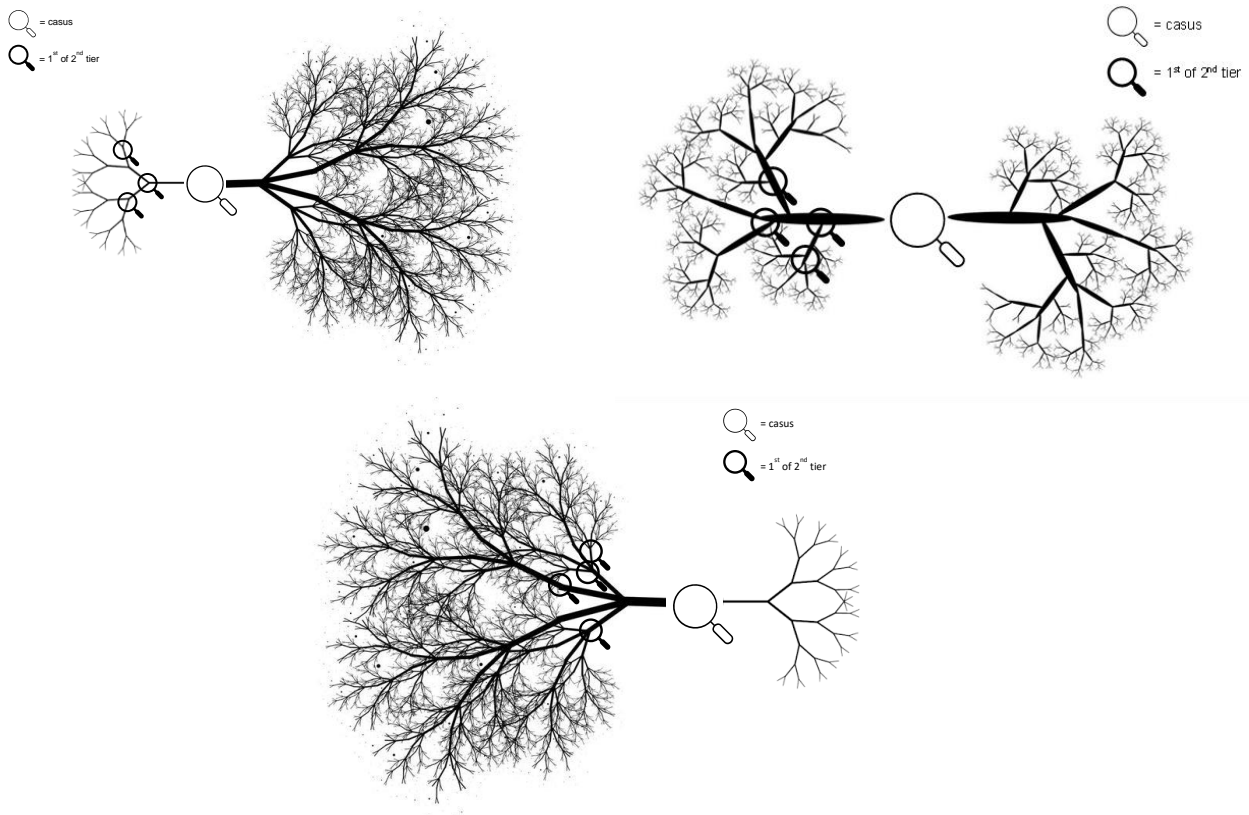
5.1 Kritikaliteit in de gehele keten

In de praktijk blijkt dat leveringszekerheid zelden in gevaar in het stadium van grondstofextractie, maar vrijwel altijd in het stadium van grondstoffen, halffabricaten en finale producten.

In een eerdere beleidsnotitie (BMH 2020) over open strategische autonomie wordt het volgende gezegd over strategische autonomie: *“De aanbeveling die we apart willen uitlichten is die tot een monitor kwetsbare economische afhankelijkheden. Hiermee bedoelen we een systematische inventarisatie van de afhankelijkheden in de economie als geheel, voor zover die Nederland kwetsbaar maken voor geopolitiek misbruik daarvan door landen buiten Europa”*.

Deze notitie erkent de benodigde focus op de economie als geheel. Het herkent ook de dilemma’s die aan zo’n monitor voor de gehele economie verbonden zijn: *“Bij de zoektocht naar de meest geschikte methode is er een dilemma tussen inhoudelijke zuiverheid en praktische werkbaarheid. Zo is het onwerkbaar om een standaardmethode (...) echt voor elk goed, grondstof, dienst of technologie toe te gaan passen. Waardeketens zijn zeer internationaal, lang en complex zoals het bekende voorbeeld van de uit vele duizenden goederen opgebouwde vliegtuigen laten zien.”*

Laten we eerst meegaan in de teneur van “ketens zijn te complex en dus onwerkbaar”. Figuur 8 geeft een impressie van de mate van complexiteit voor producten die net het grondstofstadium gepasseerd zijn, voor producten halverwege de keten (zoals plaatstaal) en voor finale producten die aan het einde van de leveringsketen kunnen staan. Deze laatste groep staat vanzelfsprekend ten dienste van de afnemers van deze producten (bijvoorbeeld sectoren zoals bouwnijverheid, elektriciteitsdistributie maar ook veiligheidsdiensten en gezondheidszorg).



Figuur 33 : casestudie aan begin van leveringsketen ("upstream"), net voorbij het stadium van geëxtraheerde grondstoffen (linksboven), halverwege de keten (veelal halffabricaten; rechtsboven) en aan het einde van de leveringsketen, veelal finale producten ("downstream"; onder)

Tegelijk blijken nieuwe methodes in staat om bedrijven en hun transacties in de keten te illustreren. Ketens blijken dus niet per definitie te complex of onwerkbaar voor kwantitatieve analyse. Een concreet voorbeeld is de studie van Bastein et al. 2023 of die van Carrara et al. 2023. Ook het rapport onder vermelding van ToR4 zal in de nabije toekomst worden gepubliceerd dat de mogelijkheden tot een ketenanalyse verder illustreert.

De volgende datasets en indicatoren staan centraal in deze kritikaliteitsbenadering.

Publiek beschikbaar /betaalde licentie	Data	Indicator
Betaalde licentie	Bedrijven, met expliciete link naar classificaties die in publieke statistiek worden gebruikt	Verdeling bedrijven over sectoren en productgroepen, en dus impliciet over grondstoffen, heen
Betaalde licentie	Transacties tussen bedrijven	Verschillende indicatoren uit de grafentheorie, zoals centraliteit, robuustheid van een netwerk etc.

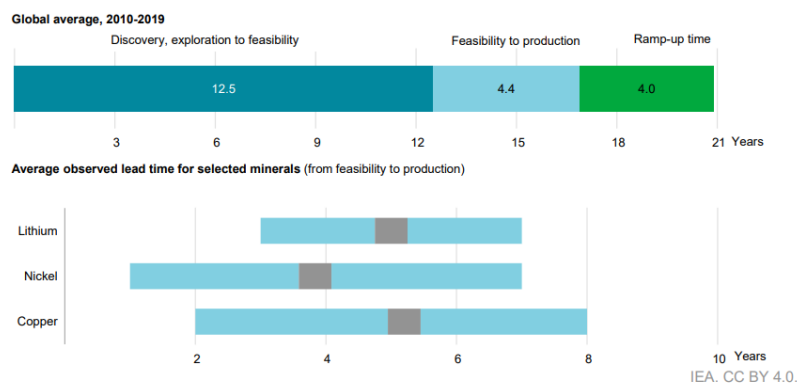
5.2 Doorlooptijd

Het doel van het bepalen van kritikaliteit is het bepalen van beleidsmaatregelen om leveringszekerheid te bevorderen. Bij deze maatregelen zijn naast vragen rondom “waarom”, “wie”, “wat”, “waarmee” en “hoe” ook zeker de vraag “wanneer” centraal. Hiermee wordt kritikaliteit beoordeeld door principes die gebaseerd zijn op veerkracht (Sprecher et al. 2017) en slechts in beperkte mate op basis van een statisch risico.

De maatregelen die staan aangekondigd in de CRM Act en in de Nationale Grondstoffenstrategie (zoals streven naar diversificatie, werken aan betere “due diligence”, investeren in mijnbouw en raffinage en gebruikmaken van circulaire principes) zijn goede voorbeelden van dergelijke activiteiten.

Het verkrijgen van inzichten in doorlooptijden van maatregelen zal dus een voorname rol moeten spelen in effectief gebruik van kritikaliteitsanalyses. Een methodisch goed voorbeeld wordt gegeven door de IEA-studie Energy Technology Perspectives uit 2023 (IEA 2023). Op basis van ervaring en interviews met experts geeft het IEA een beeld van de doorlooptijden van maatregelen die invloed hebben op de beschikbaarheid van kritieke grondstoffen en de producten waar ze in zitten. Zie Figuren 34 en 35 voor de resulterende informatie.

Figure 1.15 Lead times for mining of selected minerals



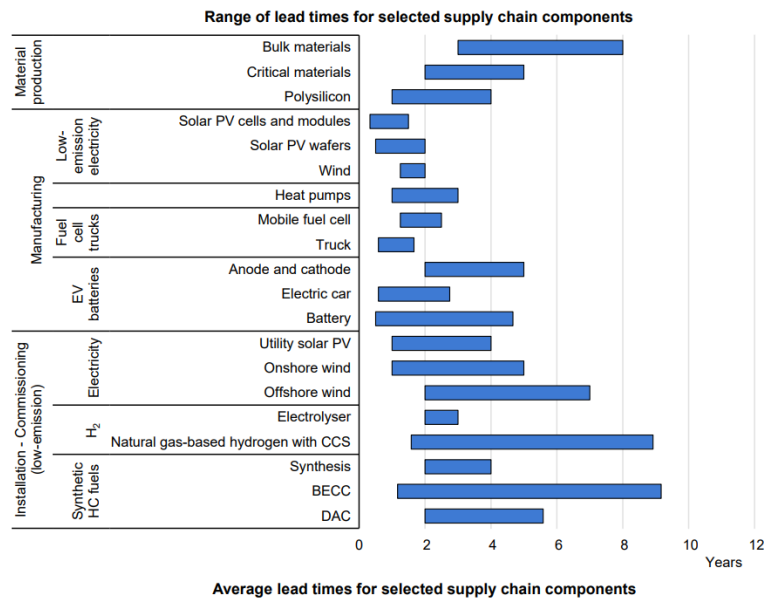
Note: Lead time averages are based on the top 35 mining projects that came online between 2010 and 2019.

Sources: IEA analysis based on S&P Global (2020); S&P Global (2019); Fraser et al. (2021); Heijnen et al. (2021).

Exploration takes the most time in bringing new mines into operation, while construction and ramping up production to full capacity typically take almost a decade.

Figuur 34 Doorlooptijden van mijnbouwprojecten (bron: IEA)

Figure 1.16 Range of (top) and average (bottom) global lead times for selected clean energy technology supply chains



Figuur 35 Doorlooptijden voor het opzetten van productie voor componenten en materialen (bron: IEA)

Op basis van dit inzicht is te schatten op welke termijn effecten verwacht mogen worden. Een systematiek die dergelijke analyses ondersteund is gebaat bij continuïteit en niet bij het ad-hoc uitvoeren van analyses over de aard en de consequenties van mitigerende maatregelen. Dat geldt natuurlijk niet alleen over de maatregelen in de bovenstaande figuren, maar ook over de snelheid waarmee recycling kan worden opgetuigd, vruchtbare diplomatieke banden kunnen worden opgebouwd, etc.

De volgende datasets en indicatoren staan centraal in deze kritikaliteitsbenadering

Publiek beschikbaar /confidentieel	Data	Indicator
Publiek beschikbaar	Expert judgement over minimale en maximale doorlooptijd van investeringen/interventies in (bewerkte) grondstof leveringszekerheid	Doorlooptijd

5.3 Eigenschappen productgroep of sector bepalen kritikaliteit

Producten hebben stereotype eigenschappen zoals prijs, gemiddelde levensduur, gewicht, frequentie van gebruik, mate van innovatie, beschikbaarheid van elektronische data, modulariteit en natuurlijk de mate waarin een product te recyclen is.

Sectoren hebben ook stereotype eigenschappen zoals beslismacht, marktmacht, dynamiek in het aantal en de leeftijd van bedrijven in een sector, de winstmarge, het aandeel kapitaalgoederen of ingekochte goederen in de totale bedrijfskosten, het aantal

verschillende leveranciers of klanten, de aandacht voor MVO aspecten in de legitimiteit van een sector etc.

Deze eigenschappen zijn beschreven in Rietveld & Bastein (2021), een rapport dat gericht was op het inschatten van potentie van circulaire strategieën ten behoeve van beleidsvorming. Voor deze eigenschappen geldt dat ze veelal objectief vast te stellen zijn en zelfs te kwantificeren (zie Tabel 8). Met deze eigenschappen zou aldus ook de economische impact (met name op basis van sectoreigenschappen) en leveringsrisico (met name op basis van producteigenschappen) bepaald kunnen worden.

Tabel 8: overzicht van 10 eigenschappen, met indeling in “klassen” die een cijfermatige afbakening geven

	Vingerafdruk van product				
Prijs/artikel (EUR)	<= 1	1-10	10-100	100-1000	> 1000
Levensduur (jaar)	<1	2-5	5-10	10-20	> 20 jaar
Volume/gewicht per artikel (kg)	<= 1 kg	1-10 kg	10-100 kg	100-1000kg	> 1000kg
Technische dynamiek, wanneer levert een artikel niet de functie die nieuwste versies leveren? (jaar)	<2	2-5	5-10	> 10 jaar	
Deel van de tijd dat een product paraat moet staan	> 80%	30-80%	5-30%	< 5%	
Data beschikbaar van product, zowel uit productie fase als gebruiksfase	Ja			nee	
Is een product in principe gereed te maken voor gebruik door ander persoon/huishouden?	Ja			nee	
Minstens in 5 onderdelen uit elkaar te halen door mens of machine, waarbij die onderdelen los te bestellen zijn? (J/N)	Ja			nee	
Directe dissipatie (ja/nee)	Ja			Nee	
Inschatting aandeel grondstoffen in product dat op vergelijkbaar prijsniveau kan worden gerecycled ten opzichte van virgin/primair	<1%	1-5%	5-10%	10-50%	> 50%

Het overzicht van kwetsbaarheidsindicatoren in § 2.5, met name in Figuur 8, dat andere studies bovenstaande stereotype product- of sectoreigenschappen ook al gebruikt hebben.

Het lijkt misschien vergezocht om product- en sectoreigenschappen te gebruiken bij het bepalen van kritikaliteit. Meer er zijn enkele redenen die het logisch maken dat deze eigenschappen worden gebruikt in de beschouwing van kritikaliteit. Ten eerste worden sectoreigenschappen reeds gebruikt in de kritikaliteitsmethode van de USGS, zoals winstgevendheid en uitgaven aan grondstoffen van een sector. Ten tweede zijn er tal van recente voorbeelden van situaties waarin intensiever en/of langer gebruik en recycling een gangbare strategie zijn om bedrijfsrisico's te verminderen. Denk aan het veranderen van afschrijvingstermijnen voor machinelijnen, het operationeel houden van militaire voertuigen, het gebruik van landbouwmachines via loonbedrijven. Ten derde is recycling een onbetwist onderdeel van iedere officiële kritikaliteitsstudie.

De volgende datasets en indicatoren staan centraal in deze kritikaliteitsbenadering

Publiek beschikbaar /betaalde licentie/confidentieel	Data	Indicator
Publiek beschikbaar	Productgroepen op CN8	Verdeling grondstoffen over productgroepen
Betaalde licentie	Productgroepen op CN8-10-12-14	Verdeling grondstoffen over productgroepen
Publiek beschikbaar	Gemiddelde prijzen op basis import en export waarde	Prijzen
Confidentieel	Typische levensduur op basis van confidentiële CBS data over afschrijvingen	Levensduur
Publiek beschikbaar	Typische levensduur op basis academisch werk	Levensduur
Betaalde licentie	Materiaal samenstelling op basis transacties bedrijven	Verdeling grondstoffen over productgroepen
Publiek beschikbaar	Materiaal samenstelling productgroepen op basis publiek onderzoek	Verdeling grondstoffen over productgroepen
Publiek beschikbaar	Milieu impact data op basis van publiek onderzoek	Gangbare LCA impacts zoals broeikasgasemissie, toxiciteit, erosie etc. per grondstof

5.4 Verwachte impact op publieke belangen

De wijze van economische impact, en eventuele tekortkomingen van huidige rekenmethoden daarvoor, zijn in dit rapport aan de orde gekomen in §2.1.1., overige delen van hoofdstuk 2 en bijlage 1. De economische impact past echter in een breder kader. Het begint met de vraag: waarom zou de overheid moeten ingrijpen in leveringen van grondstoffen? Het antwoord daarop zal veelal luiden dat bepaalde publieke belangen risico ondervinden van een onzekerheid in levering. Een overzicht van publieke belangen is gegeven in bijlage 2. Het is belangrijk om te weten dat er geen uniforme lijst met publieke belangen beschikbaar is voor de Nederlandse rijksoverheid. Er zijn verschillende documenten die publieke belangen beschrijven, zoals van de Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid, het ministerie van Financiën en de Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en Veiligheid.

Als overheidsbeleid wordt gelegitimeerd door meer dan alleen maar economische veiligheid betekent dit echter wel dat de link tussen economische impact en alle maatschappelijke belangen moet worden vastgesteld. Op dit moment is deze verbinding echter niet aanwezig en is deze moeilijk te leggen op basis van de methoden zoals behandeld in dit rapport. De website van het Kenniscentrum voor Beleid en Regelgeving geeft een goed overzicht²⁴ van verschillende documenten die voor de Nederlandse Rijksoverheid deze belangen beschrijven. Het is in de context van kritikaliteit en geopolitiek veelzeggend dat de publieke belangen die gebruikt worden in de Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid (ANV 2019) niet vermeld staan op de website van het Kenniscentrum.

²⁴ <https://www.kcbr.nl/beleid-en-regelgeving-ontwikkelen/beleidskompas/1-wat-het-probleem/publiek-belang>

Het is relatief eenvoudig om de relatie tussen een product en een publiek belang te leggen. Bijvoorbeeld: een transformator draagt bij aan de energietransitie. Het is echter vrijwel onmogelijk om een strategische ketenafhankelijkheid te vertalen in een risicoanalyse zonder eenduidige relatie tussen alle productgroepen en dit publiek belang. Voor een individueel bedrijf kan het tekort van een product nog worden vertaald naar negatieve invloed op de winstgevendheid. De complexiteit van een economie staat een dergelijk causaal verband niet toe zonder aanvullende definities.

De volgende datasets en indicatoren staan centraal in deze kritikaliteitsbenadering

Publiek beschikbaar /confidentieel	Data	Indicator
Confidentieel	Productgroepen per publiek belang, op basis van PIANOO data en CBS data	Type en omvang productgroepen per publiek belang
Confidentieel	Uitgaven aan kapitaalgoederen (en onderhoud er van) per publiek belang, op basis van PIANOO data	Type en omvang productgroepen per publiek belang

6 Discussie & Aanbevelingen voor gebruik

Dit rapport is in aanleg gericht op beleidsmakers binnen de Nederlandse Rijksoverheid en bijbehorende instituten. Maar alle betrokkenen bij beleidsvorming rondom het dossier leveringszekerheid, ook die uit de private sectoren, zijn doelgroep van deze studie. Eenduidigheid rondom de vele factoren die een rol spelen bij de exponentieel groeiende aandacht rond kritikaliteit is een voorwaarde voor goede publieke interventie. Dit rapport levert een overzicht en uitleg bij de mogelijke indicatoren voor kritikaliteit. Het is mogelijk dat in de loop van de tijd aanvullende dimensies zich zullen aandienen. Maar het canvas aan indicatoren voor grondstoffen kritikaliteit dat in de afgelopen vijftien jaar is gepubliceerd is naar verwachting vrij compleet. In de komende tijd is het noodzakelijk om keuzes te maken welke indicatoren voor Nederland in de komende jaren het meest belangrijk zijn. Het rapport legt dus de basis voor een kritikaliteitsbeoordeling voor de Nederlandse economie in 2024.

Er zijn drie relatief eenvoudige bevindingen te delen. Op de eerste plaats is het nodig te weten op basis waarvan de selectie van CRMs (en dus ook grotendeels van SRMs) is gedaan. En dat dus bijvoorbeeld geologisch voorkomen of uitputting daar geen rol bij speelt, maar de landenconcentratie van winning en productie juist wel een heel dominante. Op de tweede plaats zal bij bestudering van de vele alternatieve manieren waarop het begrip kritikaliteit kan worden ingevuld ook duidelijk worden dat kritikaliteit een begrip is ‘in the eye of the beholder’: er is niet één definitie van kritikaliteit, maar deze hangt sterk af van de beleidsinsteek of de actuele situatie. Afhankelijk zelfs van de gekozen beleidsinsteek (en dus set van indicatoren) zullen andere grondstoffen als meer kritiek of strategisch naar voren komen. Op de derde plaats kan het inzicht in de verschillende indicatoren helpen om de beleidsvoornemens zoals verwoord in de Nationale Grondstoffenstrategie te helpen concretiseren, met het oog op toekomstige beleidsevaluatie van majeure investeringsbeslissingen.

Het waarschijnlijk belangrijkste discussiepunt is het advies om grondstoffen te beschouwen in de context van in de globale leveringsketen/netwerk. Daarmee ook in de context van producten waar de grondstoffen in verwerkt zijn en de manier waarop die producten vervaardigt en geconsumeerd worden. Het is verstandig om niet alleen van kritieke grondstoffen (eerste stap van iedere keten), maar ook van kritieke producten te spreken (aanwezig in de rest van de keten). Voor de vervaardiging van kritieke producten is de doorlooptijd van cruciaal belang, omdat dit het beste inzicht geeft in welke publieke interventies bij kunnen dragen in de veerkracht van de economie. Ook sectoreigenschappen zijn hierbij van belang. Voor de consumptie, ongeacht de lengte van de levensduur, zijn producteigenschappen belangrijk bij het bepalen hoe circulaire strategieën een bijdrage kunnen leveren aan een grotere leveringszekerheid.

Grondstoffen krijgen op dit moment veel aandacht omdat ze jarenlang als een vanzelfsprekend beschikbare productiefactor zijn aangenomen. We bevinden ons dus in een situatie waarin de staart (grondstoffen) de hond (de industriële basis, het industriële eco-systeem) kwispelt. Beslissingen rondom sleutel technologieën, arbeidsmarkt, internationale

handel en vestigingsklimaat en infrastructuur zullen waarschijnlijk belangrijker zijn voor een welvarend Nederland dan interventies in grondstof leveringszekerheid. Echter, de tijd dat grondstoffen zo alom aanwezig werden aangenomen als zuurstof of zoetwater ligt hopelijk achter ons.

Een verbinding tussen kritieke grondstoffen/kritieke producten en publieke belangen is heel moeilijk te maken, maar wel noodzakelijk voor een effectief beleid dat op brede, langdurige politieke steun kan rekenen. Een geformaliseerde, maar ook confidentiële, dialoog tussen overheid en bedrijven om gegevens uit te wisselen kan daarbij helpen. Een dergelijke connectie kan helpen om tot een gezamenlijk begrip van de urgentie te komen en tot een gezamenlijk handelen. Er zijn verschillende redenen waarom een kennisuitwisseling niet via publiek beschikbare bronnen kan verlopen: intellectueel eigendom, bedrijfsstrategie, marktwaarde van eenzijdig beschikbare informatie of het gevaar dat zaken uit relevante context worden gerapporteerd.

Aanbevelingen voor het uit te voeren onderzoekswerk zijn aldus deels relatief eenvoudig en deels zeer complex en gecompliceerd.

De relatief eenvoudige aanbevelingen betreffen het genoemde werk dat zich kenmerkt als “bureau-onderzoek”. Voor elk van de gesuggereerde indicatoren en methodes/benaderingen geldt dat de benodigde data- en informatiebasis nog geprofessionaliseerd moet worden. Dit is de een taak die door het Nederlands Materiaal Observatorium (NMO) en aan haar gelieerde kennisdragers (universiteiten, planbureaus, overige kennisinstellingen etc.) zal worden opgepakt.

De complexiteit en complicaties liggen in het gebruik van de genoemde data- en informatie. Het verzamelen van inzicht biedende datapunten is één, het vertalen daarvan naar wat de betekenis is voor daadwerkelijke risico's voor Nederland en hoe daarop te handelen is vers twee. Dat die relatie er is niet kan een probleem vormen voor een stabiel lange-termijn-beleid. Bij een duidelijke relatie tussen kwetsbaarheden van sectoren sector en publiek belang zal breder draagvlak ontstaan (bijvoorbeeld onder welvaartseconomen) hetgeen kan leiden tot robuust beleid rond onderzoek, ontwikkeling en investeringen. Vertaling van NMO data naar daadwerkelijk (publiek, Nederlands) belang vereist een nog veel breder veld aan expertises verbonden aan de publieke belangen: economie, diplomatie, recht, gezondheidszorg, veiligheid etc.

We bevelen dus aan om de aangekondigde kritikaliteitsanalyse voor Nederland niet te verrichten op basis van simpelweg een selectie van indicatoren zoals besproken in hoofdstuk 3 en 4. Dit zou leiden tot een beoordeling die beleidsvorming weinig tot geen houvast biedt. De aanbeveling is om een methode te ontwikkelen op basis van hoofdstuk 5. Dit betekent een nieuwe werkwijze die is gebaseerd op ketenrelaties, de tijd die het nodig is om maatregelen te nemen en bovenal de relatie duidelijk maakt tussen grondstof-product-sector-publiek belang. De rol van eventuele negatieve impacts op mens en milieu van leveringsketens komt terug in sectoreigenschappen en (internationale) publieke belangen.

Daarbij moet een keuze worden gemaakt over de scope van de grondstoffen. Het meenemen van afhankelijkheden in biotechnologie (bijvoorbeeld zaadveredeling) of farmacie (bijvoorbeeld actieve farmaceutische ingrediënten) is een optie, zolang een keuze is gemaakt om naast kritieke grondstoffen ook kritieke producten te beschouwen.

De vraag “Wat maakt een grondstof kritiek?” lijkt dus uiteindelijk te worden beantwoord via een weg van betere data- en informatie over ketenrelaties, een vaststelling van

doorlooptijden van mogelijke investeringen/maatregelen, een goed georganiseerde dialoog met de private sector en een duivels moeilijke verbinding tussen kritieke producten en publieke belangen.

Bronvermelding

- Aguilar-Hernandez, G., Kleijn, R., Mancheri, N. Loibl, A. Tercero, L. (2022), *A review of future critical raw material demand in 11 key technologies for transport, energy, electronics and telecommunication sectors*. SCRREEN | D7.2: Future Critical Raw Material demand for 11 selected technologies, 2022.
- ANV (2019), Geïntegreerde risicoanalyse Nationale Veiligheid, Analistennetwerk Nationale Veiligheid. Beschikbaar online: https://www.nctv.nl/binaries/nctv/documenten/publicaties/2019/6/07/geintegreerde-risicoanalyse-nationale-veiligheid/TK-bijlage-geintegreerde-risico-analyse-nationale-veiligheid_tcm31-393838.pdf
- Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld (2023) Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, TNO, 2023, rapport in opdracht van het Ministerie van Buitenlandse Zaken. Beschikbaar online: <https://open.overheid.nl/documenten/a57bc8ed-f49e-46ae-a724-a7f095b86d3c/file>
- Blengini, G. A., Nuss, P., Dewulf, J., Nita, V., Talens, L., Vidal-Legaz, B., Latunussa, C., Mancini, L., Blagoeva, D., Pennington, D., Pellegrini, M., Maercke, A. van, Solar, S., Grohol, M., Ciupagea, C. (2017a), *EU methodology for critical raw materials assessment: Policy needs and proposed solutions for incremental improvements*, Resources Policy, Volume 53, 2017, Pages 12-19, ISSN 0301-4207, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.05.008>, 2017, Beschikbaar online: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105697>.
- Blengini, G., Blagoeva, D., Dewulf, J., Torres De Matos, C., Nita, V., Vidal Legaz, B., Latunussa, C., Kayam, Y., Talens Peiro, L., Baranzelli, C., Manfredi, S., Mancini, L., Nuss, P., Marmier, A., Alves Dias, P., Pavel, C., Tzimas, E., Mathieux, F., Pennington, D. and Ciupagea, C. (2017b), *Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials – Annexes*. EUR 28654 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2017. JRC107008., 2017, Beschikbaar online: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC107008> (scientific paper available through <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105697>).
- BMH-secretariaat. Online: <https://www.rijksfinancien.nl/bmh/bmh-16-speelbal-of-spelverdeler.pdf>
- Brown, J.H. and Eggert, R.G. (2017), *Simulating producer responses to selected Chinese rare earth policies* Resources Policy, 6 November 2017, 10.1016/j.resourpol.2017.10.013,2017.
- CREM (2019) Opname biotische grondstoffen in de grondstoffenscanner, Methodiek en resultaten. Beschikbaar online: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/05/opname-biotische-grondstoffen-in-de-grondstoffenscanner.pdf>
- Department of Defense (2022), Securing Defense-Critical Supply Chains. An action plan developed in response to President Biden's Executive Order 14017. 2022, Beschikbaar online: <https://media.defense.gov/2022/Feb/24/2002944158/-1/-1/1/DOD-EO-14017-REPORT-SECURING-DEFENSE-CRITICAL-SUPPLY-CHAINS.PDF>.

- Eckes, A. E. (1979), *The United States and the Global Struggle for Minerals*, University of Texas Press, 1979. In Peck, D., (2019), *Critical Materials: Underlying Causes and Sustainable Mitigation Strategies*. Offerman, E. (ed.). Chapter; *A Historical Perspective of Critical Materials: 1939 to 2006* London: World Scientific, p. 85-101 (World Scientific Series in Current Energy Issues; vol. 5), 1979.
- Eggert, R. (2011), *Minerals go critical*. *Nature chemistry*. 3. 688-91. 10.1038/nchem.1116. 2011, Beschikbaar online: https://www.researchgate.net/publication/51589162_Minerals_go_critical.
- European Commission (2008), *The raw materials initiative — meeting our critical needs for growth and jobs in Europe* {SEC(2008) 2741} COM(2008) 699 final. 2008, at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:en:PDF>
- Carrara, S., Bobba, S., Blagoeva, D., Alves Dias, P., Cavalli, 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., Pennington, D. and Christou, M., *Supply chain analysis and material demand forecast in strategic technologies and sectors in the EU – A foresight study*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023, doi:10.2760/334074, JRC132889. European Commission (2023), *Study on the EU's list of Critical Raw Materials*. 2023, Beschikbaar online: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/57318397-fdd4-11ed-a05c-01aa75ed71a1>
- European Commission (2021), *Strategic dependencies and capacities. Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single Market for Europe's recovery*. SWD(2021) 353 final. 2021, Beschikbaar online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2021:0352:FIN:EN:PDF>.
- Eurostat Comext (2023), *Trade statistics*. 2023, Beschikbaar online: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DS-045409/default/table?lang=en>.
- Eurostat Structural Business Statistics (2023), *Annual detailed enterprise statistics*, 2023, Beschikbaar online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/data/database>.
- Foo, N., Bloch, H., Ruhul, S. (2018), "The optimisation rule for investment in mining projects," *Resources Policy*, Elsevier, vol. 551, pages 123-132. 2018, Beschikbaar online: <https://ideas.repec.org/a/eee/jrpoli/v55y2018icp123-132.html>.
- Graedel, T.E., Reck, B.K. (2019), *World Scientific Series in Current Energy Issues. Critical Materials*, pp. 103-115 (2019) Open Access Chapter 6: *Defining the Criticality of Materials* https://doi.org/10.1142/9789813271050_0006. 2019, Beschikbaar online: <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/11007#t=oc>.
- de Haes, S., Lucas, P., (2024) *Environmental impacts of extraction and processing of raw materials for the energy transition*. Product number 5364. Beschikbaar online: <https://www.pbl.nl/en/publications/environmental-impacts-of-extraction-and-processing-of-raw-materials-for-the-energy-transition>
- Hassink, W., Klaauw, B., Maasacker, M., Schaasberg, W., Straathof, B., Theeuwes, J., Dirkmaat, T., Gelissen, T., Heijs, J., Klomp, L. (2012), *Dare to measure: Evaluation designs for industrial policy in The Netherlands* Final report of the Impact Evaluation Expert Working Group, 2012.
- HCSS (2020), *Securing Critical Materials for Critical Sectors. Policy options for the Netherlands and the European Union* HCSS Geo-Economics. The Hague Centre for Strategic Studies, ISBN/EAN: 9789492102805 Authors: HCSS: Irina Patrahau, Michel Rademaker (Project Leader), Hugo van Manen, and Lucia van Geuns Centrum voor Milieuwetenschappen: Ankita Singhvi and René Kleijn, 2020, Beschikbaar online: <https://hcss.nl/wp-content/uploads/2021/01/Securing-Critical-Materials-for-Critical-Sectors.pdf>.

- IEA (2021), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. 2021, Beschikbaar online: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>.
- IEA (2023), Energy Technology Perspectives 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>, Licence: CC BY 4.0 Beschikbaar online: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2023>
- Mancheri, N. A., Sprecher, B., Bailey, G., Ge, J., Tukker, A. (2019), Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience, Resources, Conservation and Recycling, Volume 142, 2019, Pages 101-112, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.017>.2019.
- Marscheider-Weidemann, F., Langkau, S., Baur, S.-J., Billaud, M., Deubzer, O., Eberling, E., Erdmann, L., Haendel, M., Krail, M., Loibl, A., Maisel, F., Marwede, M., Neef, C., Neuwirth, M., Rostek, L., Rückschloss, J., Shirinzadeh, S., Stijepic, D., Tercero Espinoza, L., Tippner, M. (2021), Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021– DERA 5RKVWRI;QIRUPDWLRQH 50: 366 S., Berlin. 2021, Beschikbaar online: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Laufende-Projekte/Rohstoffwirtschaft/Zukunftstechnologien/lp-zukunftstechnologien_node.html.
- Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M. and Scapolo, F. (2022), Towards a green and digital future, EUR 31075 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-52452-6, doi:10.2760/54, JRC129319. 2022, Beschikbaar online: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319><https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129319>.
- Nedal T. Nassar, N.T., Fortier, S.M., Gamboqi, J., Alonso, E, Pineault, D., Bird, L.R., Lederer, G., Matos, G., Manley, R., Gully, A. and Brainard, J. (2020), Evaluating the mineral commodity supply risk of the U.S. manufacturing sector. DOI – 10.1126/sciadv.aay8647 American Association for the Advancement of Science, 2020.
- Rietveld, E. & Bastein, T. (2021) TNO 2021 R10860 Circulaire potentie en de vingerafdrukmethode Technisch Rapport bij de Vingerafdruk-database. Beschikbaar online: <https://publications.tno.nl/publication/34638393/OyrgrM/TNO-2021-R10860.pdf>
- Schrijvers, D., Hool, A., Blengini, G., Chen, W., Dewulf, J., & Eggert, R., van Ellen, L., Gauss, R., Goddin, J., Habib, K., Hagelüken, C., Hirohata, A., Hofmann-Amttenbrink, M., Kosmol, J., Le Gleuher, M., Grohol, M., Ku, A., Lee, M., Liu, G. and Wäger, P. (2019), A review of methods and data to determine raw material criticality. Resources, Conservation and Recycling. 10.1016/j.rcrx.2019.100023, 2019, Beschikbaar online: https://www.researchgate.net/publication/336899133_A_review_of_methods_and_data_to_determine_raw_material_criticality.
- Sprecher, B. Daigo, I. Spekkink, W., Vos, M., Kleijn, R., Murakami, S. and Kramer, G.J. (2017), Novel Indicators for the Quantification of Resilience in Critical Material Supply Chains, with a 2010 Rare Earth Crisis Case Study. Environmental Science & Technology 2017 51 (7), 3860-3870 DOI: 10.1021/acs.est.6b05751. 2017, Beschikbaar online: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5770137/>
- TEGSF (2020 Technical Expert Group on Sustainable Finance. Taxonomy: Final technical report March 2020. Beschikbaar online: https://finance.ec.europa.eu/system/files/2020-03/200309-sustainable-finance-teg-final-report-taxonomy_en.pdf
Voor de gebruikte MS Excel file: https://finance.ec.europa.eu/system/files/2023-06/sustainable-finance-taxonomy-nace-alternate-classification-mapping_en.xlsx

- TNO (2019), Global energy transition and metal demand. Rietveld, Bastein, Hacuk, van Harmelen, Boonman, 2019, Beschikbaar online:
https://www.researchgate.net/publication/330468693_GLOBAL_ENERGY_TRANSITION_AND_METAL_DEMAND.
- Torres de Matos, C., Wittmer, D., Mathieux, F. and Pennington, D. (2020), Revision of the material system analyses specifications JRC118827, EUR 30091. ISBN 978-92-76-10734-7, 2020, Beschikbaar online:
<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/Revision%20of%20the%20material%20system%20analyses%20specifications.pdf>.
- USGS (2023) Annual Review 2022: Critical Minerals USGS critical minerals review. Steven M. Fortier, Nedal T. Nassar, Warren C. Day, Jane M. Hammarstrom, Robert R. Seal, II, Garth E. Graham W. Lederer. Beschikbaar online:
<https://apps.usgs.gov/minerals-information-archives/articles/USGS-Critical-Minerals-Review-2022.pdf>
- Worldbank (2024), World bank data, 2022, Beschikbaar online:
<https://data.worldbank.org/indicator/NE.GDI.FTOT.ZS>

Bijlage 1 Analyse economisch impact in huidige EC methodiek

Discussion on using the share of end use of a raw material in EI calculation

One of the fundamental observations in both the new JRC methodology and the previous EC criticality assessment (EC, 2014) is that the way in which application shares for individual (raw) materials are employed to calculate the specific contribution of the Economic Importance (EI) of that particular material may lead to numbers that bear little relation to reality.

In the JRC document the formula for EI is given as:

$$EI = \sum_{n=1}^{\infty} (A_s * Q_s) * SI_{EI}$$

in which A_s represents the share of end use of a raw material in a NACE 2-digit level sector. An example based on one of the applications of silver demonstrates our concerns:

- Example: use of silver in photography
- The application of silver in photography was allocated to NACE-2-sector Chemicals in the previous EC assessment.
 - Since about 7% of the total silver used in EU is dedicated to photography, the current equation assumes that 7% of the Chemicals sector (equivalent NACE 2-digit code) value is allocated to silver.
 - GVA of NACE-2 Chemicals= 110 billion EUR
 - The economic importance contribution of this application is (w/o taking substitution into account) therefore 7.7 billion EUR
 - Our early observation is that the use of the application has no physical relation to the realistic percentage of the value of the chemicals sector that indeed depends on the availability of silver.
- The application resides under NACE code 20.59: Manufacture of other chemical products n.e.s.
 - NACE 20.59: 13.9 billion EUR
 - 2 of which relate to the photography use for silver, which is only as silver halide crystals in photographic films:
 - 20.59.11.30 Photographic plates and films... : sales value 1.323 billion EUR
 - 20.59.11.50 Photographic film in rolls: sales value 0.474 billion EUR
 - There, real EI contribution of application of silver in photography = (sales – import) * GVA-coefficient²⁵ = 1.508 billion EUR* 0.26 (@ 4-digit level) = 0.392 billion EUR
 - This is about 0.36 % of the (2014) chemical industry GVA of 110 billion EUR.

²⁵ GVA-coefficient = ratio between value added at factor cost and production value at 2-digit NACE level of the corresponding NACE sector; for sector 25 (metal products) this value is 159,513 bio. EUR (VA) and 442.633 bio. EUR (production value) = 0.360; for sector 20 (chemicals) this value is 0.26.

- the contribution of silver in our current analysis to GVA related to its use in photography is therefore 0.392 billion EUR instead of (7% of 110 billion EUR =) 7.7 billion EUR.

There will undoubtedly be cases in which the application of materials and the applications themselves are more complex than the example given above about the application of silver in photographic films. It may then be that estimates at a less detailed level might have to be used. Very widely used major industrial metals like iron, aluminum and copper are examples of materials where less detailed estimates should be made.

The differences between the outcomes are large and introduce a risk of sketching an erratic picture of the economic importance of materials and –more importantly- of the order of economic importance for the studies materials.

The consortium would like to have an open discussion about these observations in order to achieve a feasible methodology that answers the needs of the European Union, and fits within the possibilities and expectations of this project.

The consortium advises to have a more specific discussion on the level of detail of applications (in terms of NACE digit levels) and how to allocate the importance of a material to the GVA of that application. It is clear that analyses based on NACE-2, NACE-4 or cPA-8 digit level both lead to different results, but also to different efforts to come to complete execution of the materials list.

Bijlage 2 Publieke belangen

- Publieke belangen zijn maatschappelijke belangen die niet op een bevredigende manier door de markt in een samenleving worden behartigd, waardoor er een publieke taak ligt
- De vraag: “Is er een publiek belang?” geeft aan dat er een reden moet zijn voor de overheid om in te grijpen.
 - (Nationale) veiligheid
 - Gezondheid
 - Energietransitie
 - Digitale transitie en sleuteltechnologie
 - Concurrentie
 - Voedselveiligheid
 - Voedselzekerheid
 - Interne rechtsorde
 - Internationale rechtsorde (Verdrag voor Rechten van de Mens; Diensten van Algemeen Economisch Belang)
 - Kennis(behoud) (onderwijs)
 - Woongelegenheden
 - Privacy
 - Bestaanszekerheid/sociale zekerheid