

Methode-ontwikkeling aan de hand van drie case studies

De leveringsketens van kritieke grondstoffen

Methode-ontwikkeling aan de hand van drie case studies

De leveringsketens van kritieke grondstoffen

Auteurs	Ton Bastein, Elmer Rietveld, Fokel Ellen, Wieger Voskens
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Aantal pagina's	97 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	5
Opdrachtgever	ministerie Economische Zaken en Klimaat
Programmanaam	Vorbereiding NMO en inzet CRMA
Projectnaam	Ketenanalyse kritieke grondstoffen
Projectnummer	060.57877/01.04

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	4
VOORWOORD	5
Managementsamenvatting	7
1 Alleen in toeleveringsketens komt de (grondstof-) kritikaliteit echt tot uiting	11
1.1 Producten -en niet grondstoffen- zijn van cruciaal belang voor onze economie	11
1.2 Nieuwsberichten gaan meestal over verstoringen van de toeleveringsketen	12
1.3 Overzicht van beschikbare databases en tools die worden gebruikt om de kritikaliteit te beoordelen	14
1.4 De eerste stap in elke supply chain: van grondstof naar 'first intermediate'	16
1.4.1 Introductie van kritieke en strategische grondstoffen	16
1.4.2 First intermediates: de eerste stap in toeleveringsketens	16
1.4.3 Focus op drie ketens: gebaseerd op Ge, (Fe)V en Ni	21
1.5 Structuur van het rapport	21
2 Ketenganalyse van germanium	23
2.1 Waarom aandacht voor germanium?	23
2.2 Productie en productieconcentratie van germanium	25
2.3 Wat zijn de germaniumreserves: de rol van zinkwinning	29
2.3.1 Diversificatie van het germaniumaanbod op basis van zinkwinning	30
2.4 Verwerking en (groei van) toepassingen van germanium	32
2.5 Handel in EU en Nederland	37
2.6 Prijsontwikkelingen van germanium en gevolgen voor eindproducten	37
2.7 Slotopmerkingen: germanium en Nederland	38
3 Ketenganalyse van (ferro)vanadium	40
3.1 Waarom (ferro)vanadium?	40
3.2 Productie en productieconcentratie van vanadium en ferrovanadium	40
3.3 Toepassingen van (ferro)vanadium	44
3.4 Prijsontwikkelingen en gevolgen voor downstream-toepassingen	47
3.5 Slotopmerkingen: (ferro)vanadium en Nederland	47
4 Ketenganalyse van nikkelverbindingen – introductie van de inzet van niet-publieke supply-chain-databases	49
4.1 Waarom nikkel?	49
4.2 Productie en productieconcentratie van nikkel	49
4.2.1 Verwerking van nikkel	51
4.3 (Groeierende) Toepassingen van nikkel	54
4.4 Een nadere analyse van de nikkelketen: bedrijven in beeld	59
4.4.1 Geografische spreiding van verschillende productiefasen	59
4.4.2 De relaties tussen mijnbouw en smelterijen	62
4.4.3 Analyse van Ni-toepassingen	64
4.4.4 Case study: batterijen	66
4.4.5 'Deep dives' in de nikkelketen	67
4.5 Handel in nikkel	69
4.6 Slotopmerkingen: nikkel in Nederland	69

5	Op weg naar hoogwaardige supply chain-analyses	71
	Referenties	74
	Bijlage 1 Overzicht van SRM's en CRM's	75
	Bijlage 2 First intermediates van een selectie van CRM's en SRM's	77
	Bijlage 3 Methodologie voor het beoordelen van knelpunten in toeleveringsketens	85
	Bijlage 4: introductie van Factset: Methodologie en geleerde lessen	88
	Bijlage 5: Voorbeelden van onderzoeksvragen die beantwoord kunnen worden door ketenanalyse	97

VOORWOORD

De wens om de strategische autonomie van Nederland en Europa te versterken zwelt sinds enige jaren aan. Eén van de zorgpunten van Europa en Nederland is de afhankelijkheid van Europa van grondstoffen en verwerkte materialen uit niet-EU-landen en de kwetsbaarheid die dat mogelijk betekent voor onze nationale en digitale veiligheid en onze economie. Deze zorg hebben op nationaal niveau eind 2022 geleid tot de NGS en op Europees niveau tot het opstellen van de Critical Raw Materials Act (CRMA) die sinds april 2024 in werking is getreden.

Om de relatie tussen de risico's rond de leveringszekerheid van grondstoffen en de invloed daarvan op (Nederlandse) bedrijven, sectoren en publieke belangen vast te kunnen stellen (en dus de aanleiding voor mogelijke overheidsinterventies te kunnen verantwoorden) is inzicht in de productie- en leveringsketens die zijn gebaseerd op kritieke grondstoffen noodzakelijk. Dit geldt in het bijzonder voor de Nederlandse economie en industrie die immers niet in directe zin sterk afhankelijk is van de import en bewerking van kritieke grondstoffen.

Het besef dat de analyse van risicovolle afhankelijkheden vooral inzicht in ketens nodig heeft is inmiddels breed ingedaald. Tegelijk is er een breed besef dat inzicht in ketens notoir problematisch is.

In internationaal verband heeft het Joint Research Centre van de Europese Commissie en het IEA onderzoek naar de kwetsbaarheid ketens gedaan. In Nederland is een begin gemaakt met ketenonderzoek door het opzetten van de Geo-economische Monitor en CBS-onderzoek naar concentraties van zeggenschap in toeleveringsketens.

Tussen oktober 2022 en juni 2023 heeft TNO in opdracht van het ministerie van Buitenlandse Zaken onderzoek verricht naar het verband tussen een selectie van strategische producten (grondstoffen, halffabricaten en eindproducten) die door Nederlandse bedrijven worden gebruikt en het fabriceren van (andere) producten die van belang zijn voor het borgen van de Nederlandse publieke belangen.

Op basis van deze ervaringen heeft het Ministerie van EZK een nadere kennisbehoefte geformuleerd rond de rol van kritieke grondstoffen -zoals vastgesteld in de CRMA- voor de Nederlandse samenleving. Die kennisbehoefte laat zich als volgt formuleren:

- Welke methodes zijn geschikt om in detail te kijken naar de rol van kritieke grondstoffen -en de producten waar ze in verwerkt zijn-in de Nederlandse economie?
- Wat is – indicatief - het economisch belang van kritieke grondstoffen voor de Nederlandse economie?
- Welke sectoren en bedrijven zijn betrokken bij supply chains waarbij kritieke grondstoffen betrokken zijn en tot welke mogelijk risicovolle strategische afhankelijkheden leidt die betrokkenheid?
- Hoe zou op basis hiervan een specifiek Nederlandse prioritering bij de verdere implementatie van de CRM Act eruit kunnen zien?

Een volledige, alle kritieke materialen en daarvan afhankelijke ketens omvattende analyse is vanzelfsprekend onmogelijk. Maar het is belangrijk om een begin te maken met het beantwoorden van bovenstaande vragen. In dit rapport zetten we gegevens op een rij voor

drie kritieke grondstoffen en de ketens die daarop gebaseerd zijn. Daarmee willen we een eerste aanzet geven voor een op de Nederlandse economie gericht handelingsperspectief.

Tegelijk wijzen wij er op dat deze drie case-studies niet uitputtend zijn en ook niet 'klaar' zijn. Als gevolg van wereldwijd veranderende inzichten rond strategische autonomie, economische veiligheid, handelsrelaties en van de immer groeiende behoefte aan kritieke grondstoffen (voor tal van high-tech-applicaties en energietransitietechnologieën) zullen naar verwachting aan de lopende band veranderingen plaatsvinden in het internationale grondstoffenlandschap.

In dat dynamische speelveld is geen behoefte aan ad-hoc-projecten en -rapporten. En dat geldt ook voor dit rapport. De aanzet die in dit rapport is gegeven heeft alleen zin als de methodes en de verzamelde gegevens en inzichten onderdeel worden van een op continuïteit gerichte activiteit. Alleen dan kunnen keten-dossiers worden opgebouwd, waarin actuele ontwikkelingen en ervaringen van het Nederlandse bedrijfsleven hun plek vinden.

Het is juist deze continuïteit die het oogmerk is van het Nederlands MaterialenObservatorium (NMO) dat in de loop van 2024 naar alle waarschijnlijkheid zijn beslag zal krijgen.

Het rapport dat voor u ligt is -zoals gezegd- geen afgerond document, maar het begin van een 'levend' document. Wij nodigen lezers uit additionele inzichten, feiten, methodes en databronnen te suggereren waarmee de opbouw van deze en toekomstige 'dossiers' robuuster zal kunnen worden.

Het beoogde NMO zal naast het bijeenbrengen van data en het monitoren van keten-ontwikkelingen zich ook inspannen een solide bedrijvennetwerk op te bouwen, waardoor het mogelijk zou moeten worden problemen die het Nederlandse bedrijfsleven ondervindt bij hun leveringsketens zichtbaar te maken. Het zijn juist dergelijke detailgegevens die een verrijking voor de hier gepresenteerde cases kunnen zijn. Een verrijking die op basis van publieke databases nooit bereikt zal kunnen worden.

Ton Bastein, Elmer Rietveld, Fokel Ellen en Wieger Vosker
Den Haag, juni 2024

Managementsamenvatting

De aandacht voor aanbodverstoringen van grondstoffen, halffabrikaten en producten is de afgelopen jaren sterk gegroeid als gevolg van verstoorde handelsrelaties, de economische gevolgen van de coronapandemie en de Russische agressie jegens de Oekraïne. Daar waar de aandacht voor de situatie rond grondstoffen veel aandacht krijgt, is er echter een schrijnend gebrek aan gegevens en informatie over de vorm van mondiale toeleveringsketens. Het bewustzijn omtrent dit gebrekkige inzicht is sinds 2020 sterk gegroeid. Het vermogen om leveringsrisico's te identificeren en om de belangrijkste actoren te kunnen identificeren, is een nieuw ontdekte behoefte voor de overheid.

Dit uit zich onder andere in het streven ('benchmark') dat in artikel 5 (Benchmarks) van de Critical Raw Materials Act (CRMA) wordt verwoord: "*The Commission and Member States shall strengthen the different stages of the strategic raw materials value chain (...) in order to (...) diversify the Union's imports of strategic raw materials with a view to ensuring that (...) no third country accounts for more than 65% of the Union's annual consumption of such a strategic material*".

Daarom zijn analyses nodig die de afhankelijkheid van derde landen in kaart brengen voor niet alleen strategische grondstoffen maar aanvullend ook voor strategische halffabrikaten, componenten en finale producten.

Dit rapport maakt een begin om in die kennislacune te voorzien. Het is een vervolg op een eerste rapport van TNO over strategische afhankelijkheden dat in 2023 werd gepubliceerd¹. Deze studie gaat dieper in op enkele specifieke kritieke grondstoffen en de toeleveringsketens die daarvan afhankelijk zijn (germanium, vanadium en nikkel) en exploreert daarnaast de inzet van niet-publieke, commerciële data naast eerder en algemeen gebruikte publieke databases. Deze inzet van niet-publieke data geeft inzicht op bedrijfsniveau van de vroege stadia van de nikkeltoeleveringsketen. Zowel de mondiale ketenrelaties als de relevantie voor de Nederlandse economie komen aan bod.

De eerste analyse betreft germanium, een grondstof recent onderwerp van discussie vanwege door China (de belangrijkste producent) geïntroduceerde exportmaatregelen. De beschikbaarheid van germanium hangt af van de beschikbaarheid van zinkertsen en/of de capaciteit om zink te verwerken, aangezien germanium een bijproduct is van de zinkwinning en -verwerking. Deze zogenaamde 'companionality' ('kameraadschap') van germanium pleit voor een bredere definitie van de term 'kritikaliteit': bij het inzetten op diversificatie als beleidsrichting is voor verschillende kritieke materialen het essentieel om rekening te houden met de situatie met betrekking tot de zogenaamde 'gastmaterialen' (in dit geval zink). Het Nederlandse standpunt in de CRMA-discussies op EU-niveau zou dit inzicht in de relatie tussen 'host' en 'companion' kunnen weerspiegelen.

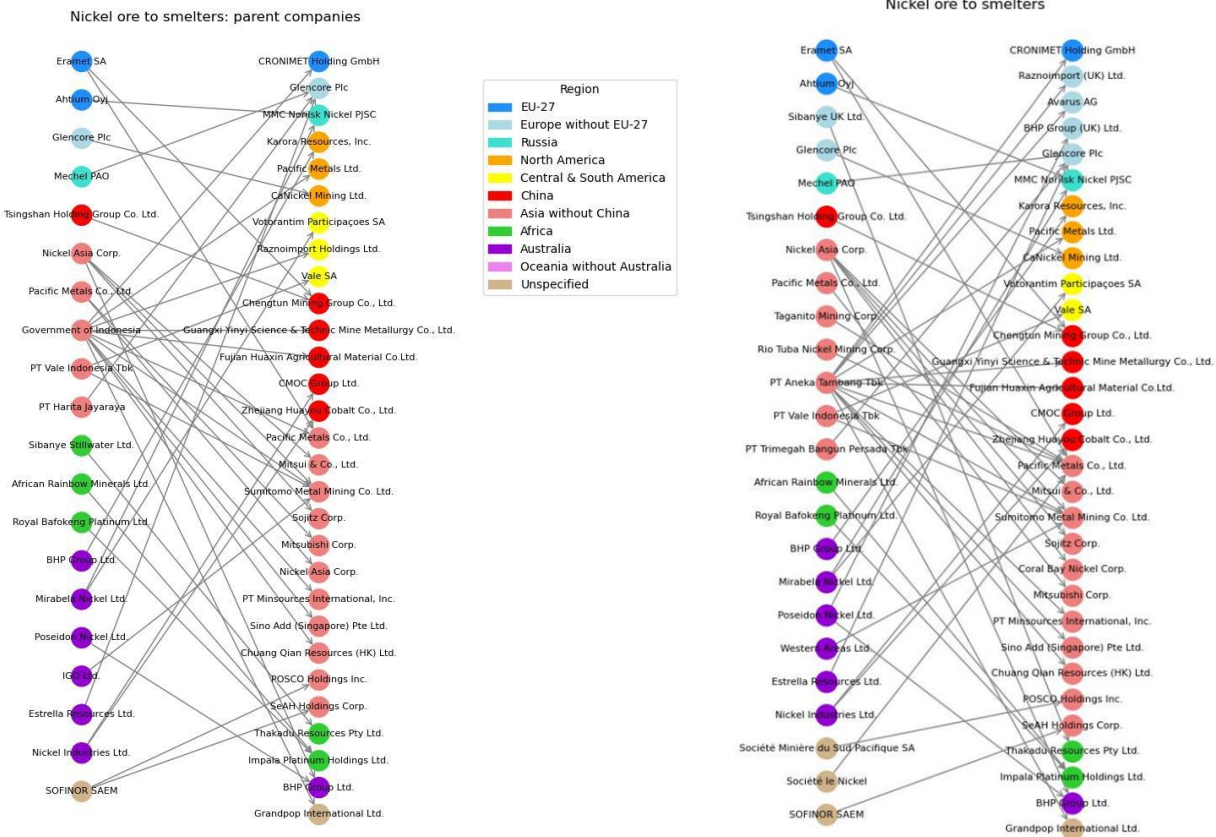
De tweede analyse betreft de situatie voor vanadium. In tegenstelling tot de situatie voor germanium zijn er momenteel geen exportmaatregelen of andere recente aanbodverstoringen bekend voor vanadium of het belangrijkste 'eerste tussenproduct' ('first

¹ Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, september 2023

intermediate') ferrovanadium (FeV). Nederland heeft een aanzienlijk aandeel in zowel de mondiale import als export. De Nederlandse import van FeV bedroeg naar schatting 6,6% van de wereldhandel, terwijl de Nederlandse export ruim 16% van het totale mondiale gewonnen volume aan vanadium vertegenwoordigde. Voor vanadiumoxiden is de situatie vergelijkbaar: 12% van de mondiale export en 17% van de mondiale import in Nederland. Deze positie illustreert de positie van Nederland als mogelijk handelsknooppunt voor (verwerkte) grondstoffen.

Een derde en laatste analyse betreft de leveringsketen van nikkel. Nikkel wordt voornamelijk gebruikt voor specifieke staaltoepassingen. Gezien de hoge prijs en hoge volatiliteit van nikkel kunnen eindgebruikers in Nederland te maken krijgen met grote prijsfluctuaties voor roestvrij staal in de materialen, componenten of producten die zij aanschaffen. De toename van het gebruik voor de productie van EV-batterijen kan leiden tot een opwaartse druk op de nikkelprijs en daarmee op de prijs van roestvrij staal. Ook voor nikkel geldt dat Nederland een belangrijke rol speelt als handels- (en opslag-)knooppunt voor de nikkelmarkt. Indien wordt overwogen om over te gaan strategische voorraadvorming, kan deze rol van betekenis zijn.

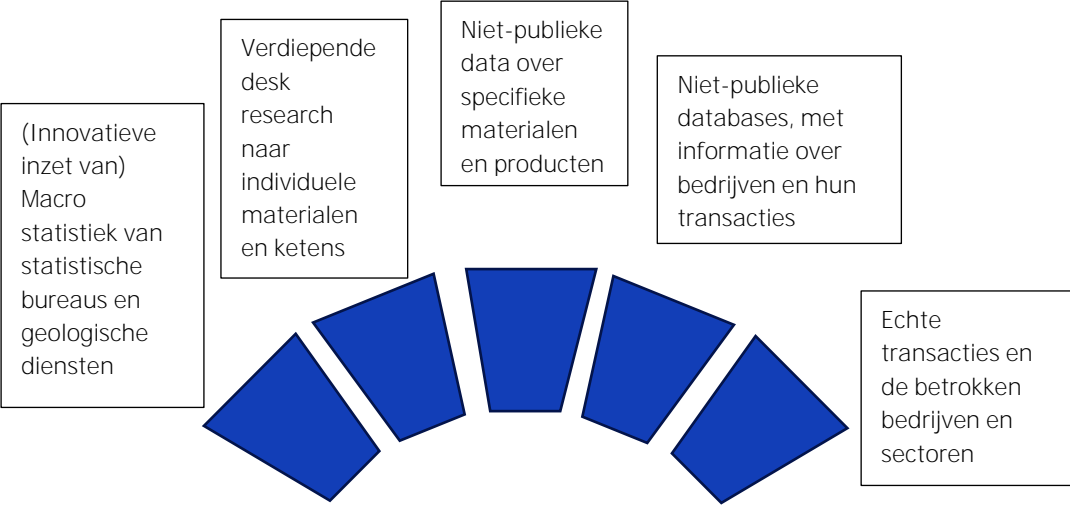
Tijdens het onderzoek naar nikkelketen werd gebruik gemaakt van niet-publieke, commerciële datasets die op de markt worden gebracht door grote dienstverleners die hun dataoplossingen voornamelijk leveren aan juridische en financiële dienstverleners. Op basis van deze gegevens (in dit geval Factset) werd een analyse gemaakt van de verdeling van ontvangende bedrijven (klanten) en producerende bedrijven (leveranciers), voor verschillende productgroepen waarin nikkel een rol speelt.



dergelijke analyses ontstaan relatiediagrammen zoals getoond in bovenstaande figuren. We concluderen dat het gebruik van dergelijke niet-publieke data essentiële informatie bevat bij het bestuderen van supply chain-relaties, met name door inzicht te bieden in de operatie van individuele bedrijven en hun moedermaatschappijen. Door continue en frequentere inzet en door uitwisseling van ervaringen met als andere (Europese) kennisinstellingen zal er ongetwijfeld sprake zijn van een leercurve bij het inzetten van dergelijke niet-publieke data.

Door het analytische vermogen te ontwikkelen om gegevens en informatie op alle detailniveaus te combineren, krijgt men een state-of-the-art beeld van mondiale toeleveringsketens. Een reëel beeld van de risico's die het gevolg zijn van verstoorde handelsrelaties rond grondstoffen verkrijgen we pas als we de brug weten te slaan tussen micro-gegevens van individuele bedrijven en transacties enerzijds en macro-gegevens over grondstofwinning en handelsstatistiek anderzijds. Daarnaast concluderen we dat de analyses in dit rapport geen finaal beeld schetsen van de situatie rond (in dit geval drie) grondstoffen. De wereldwijde situatie rond kritieke grondstoffen verandert continu en in sommige gevallen snel. Om een consistent overheidsbeleid rond kritieke grondstoffen en hun ketens mogelijk te maken is continuïteit nodig in de analytische aanpak en de opbouw van kennisdossiers.

Dit werk en deze op continuïteit gerichte aanpak zullen de komende jaren verder worden ontwikkeld in het kader van het Nederlandse MaterialenObservatorium (NMO).



1 Alleen in toeleveringsketens komt de (grondstof-) kritikaliteit echt tot uiting

1.1 Producten -en niet grondstoffen- zijn van cruciaal belang voor onze economie

De kritikaliteit op het gebied van grondstoffen is een opkomend beleidsveld met een bijzonder karakter. Terwijl de aandacht voor kritikaliteit van grondstoffen benadrukt dat materialen en grondstoffen terecht een essentieel onderdeel van onze economie zijn, zijn het in feite de componenten en halffabrikaten in het midden en de producten aan het einde van de toeleveringsketen die van waarde zijn voor de samenleving. Het is de aanvoer van deze producten, en in de meeste gevallen niet de grondstoffen, die vereist dat overheden de toeleveringsketen beter begrijpen.

De kritikaliteit van grondstoffen herinnert ons eraan dat het economische systeem kwetsbaar is voor verstoringen van de toeleveringsketen vanwege het simpele feit dat geld, moeite of data de behoefte aan materialen kan vervangen. De kritikaliteit van grondstoffen is van belang omdat we de industrie nodig hebben, zowel op ons eigen grondgebied als in het buitenland, om de samenleving te voorzien van de goederen die zij nodig heeft om stabiel te blijven en te bloeien.

In de geschiedenis van het management van toeleveringsketens voor niet-energetische producten is het zelden voorgekomen dat de aanvoer van de daadwerkelijke grondstoffen grote verstoringen heeft veroorzaakt. Het begrip 'Grondstoffen' moet in dit geval letterlijk worden genomen namelijk die materialen die rechtstreeks uit de aarde worden gewonnen, zonder dat er menselijke nabewerkingen op losgelaten zijn. Vanaf de verwerking kunnen verstoringen in de toeleveringsketen optreden: er zijn tal van voorbeelden waarbij de lange en complexe toeleveringsketens en netwerkrelaties die verwerkte grondstoffen, tussenproducten en eindproducten verhandelen verstoord zijn geraakt.

Aanbodverstoringen worden dus vrijwel alleen worden veroorzaakt door gebeurtenissen ergens in de keten. De complexiteit van ketens veroorzaakt echter een groot gebrek aan gegevens en informatie over de vorm van mondiale toeleveringsketens. Er werd aangenomen dat deze informatie (althans in de afgelopen decennia) niet nodig was voor de publieke besluitvorming. Gebeurtenissen sinds 2020 hebben die perceptie definitief veranderd. Het vermogen om leveringsrisico's te identificeren en te managen, en om de

belangrijkste actoren te identificeren, is een nieuw ontdekte behoefte voor elke verantwoordelijke overheid.

Dit rapport zet verdere (methodologische) stappen in de analyse van ketens voor een aantal kritieke grondstoffen. Het is daarmee de opvolger van een eerste rapport naar strategische afhankelijkheden uit 2023², dat uitsluitend op publieke data was gebaseerd. Deze studie zal zich daarnaast wagen aan nieuwe methoden op basis van niet-publieke data.

1.2 Nieuwsberichten gaan meestal over verstoringen van de toeleveringsketen

Onderstaande anekdotes laten zien dat verhalen in de reguliere media over verstoringen van de toeleveringsketen vrijwel nooit over (verwerkte) grondstoffen gaan; het gaat eerder om producten verderop in de toeleveringsketen.

Rubbertekort in Zuidoost-Azië (2010-2011)

In 2010 en 2011 werd de mondiale rubberindustrie geconfronteerd met een aanzienlijke verstoring van de toeleveringsketen als gevolg van ongunstige weersomstandigheden en ziekte-uitbraken in de belangrijkste rubber producerende regio's van Zuidoost-Azië, met name Thailand, Indonesië en Maleisië. Deze landen zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor een groot deel van de natuurlijke rubberproductie in de wereld. Zware regenval, overstromingen en de verspreiding van schimmelziekten zoals Pestalotiopsis-bladvlekken leidden echter tot een afname van de rubberopbrengst en -kwaliteit.

De verstoring resulteerde in een tekort aan natuurlijk rubber, een kritieke grondstof voor verschillende industrieën, waaronder de automobielsector, de bandenproductie en consumptiegoederen. Als gevolg hiervan stegen de rubberprijzen naar recordhoogten en hadden fabrikanten moeite om voldoende rubber voor hun productieprocessen veilig te stellen. Dit leidde tot productieovereenkomsten, hogere productiekosten en uiteindelijk hogere prijzen voor producten op rubberbasis.

Het rubbertekort benadrukte de kwetsbaarheid van de mondiale toeleveringsketens voor natuurrampen en milieufactoren, en benadrukte het belang van diversificatie en veerkracht in de inkoopstrategieën. Het heeft ook geleid tot inspanningen om ziekeresistente rubberboomvariëteiten te ontwikkelen en de landbouwpraktijken te verbeteren om de impact van toekomstige verstoringen op de toeleveringsketen van natuurlijk rubber te verzachten.

Machines: impact van de aardbeving in Japan op Caterpillar (2011)

In 2011 werd Japan getroffen door een krachtige aardbeving en tsunami, die wijdverbreide verwoestingen veroorzaakten en de toeleveringsketens in verschillende industrieën ontwrichtten. Caterpillar, een toonaangevende fabrikant van bouw- en mijnbouwapparatuur, werd geconfronteerd met aanzienlijke problemen als gevolg van de verstoring van zijn toeleveringsketen. Veel leveranciers van Caterpillar in Japan werden getroffen door de ramp, wat leidde tot tekorten aan cruciale componenten zoals hydraulische pompen en elektronische sensoren. De verstoring dwong Caterpillar om de

² Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, september 2023

productie in een aantal van zijn faciliteiten tijdelijk stop te zetten en alternatieve leveranciers te zoeken om de impact te verzachten. Deze gebeurtenissen benadrukten de kwetsbaarheid van mondiale toeleveringsketens voor natuurrampen en het belang van diversificatie en veerkracht in het management van de toeleveringsketen.

Elektronica: Samsung's Galaxy Note 7 batterijterugroepactie (2016)

In 2016 werd Samsung Electronics geconfronteerd met een grote verstoring van de toeleveringsketen na de lancering van de Galaxy Note 7-smartphone. Berichten over batterijen die in brand vlogen en explodeerden, leidden tot een wijdverbreide terugroepactie van het product, wat aanzienlijke schade aan de reputatie van Samsung en financiële verliezen veroorzaakte. De verstoring was het gevolg van defecte lithium-ionbatterijen die door meerdere fabrikanten werden geleverd. Samsung moest miljoenen apparaten terugroepen, de productie stopzetten en kosten maken in verband met het vervangen en repareren van de getroffen apparaten. Het incident onderstreepte het belang van kwaliteitscontrole en leveranciersbeheer in de toeleveringsketen van elektronica, evenals de mogelijke gevolgen van productdefecten voor het merkimago en het klantenvertrouwen.

Chiptekort in de auto-industrie (2021)

In 2021 ondervond de auto-industrie een ernstige verstoring van de toeleveringsketen als gevolg van een tekort aan halfgeleiderchips. Door de toegenomen vraag naar consumentenelektronica tijdens de COVID-19-pandemie werd de chipproductie weggeleid van autofabrikanten. Dit tekort had gevolgen voor de productielijnen wereldwijd, wat leidde tot een verminderde voertuigproductie en vertragingen bij de levering. Autofabrikanten als Ford, General Motors en Volkswagen werden gedwongen de productie te verlagen, wat resulteerde in inkomstenverliezen en knelpunten in de toeleveringsketen.

1.3 Overzicht van beschikbare databases en tools die worden gebruikt om de kritikaliteit te beoordelen

Dankzij de investeringen in grondstoffenonderzoek van de afgelopen jaren is een uitgebreide set databases beschikbaar. Het belangrijkste onderscheid tussen de beschikbare datasets ligt in de vraag of er kosten aan het gebruik verbonden zijn.

Een aantal uitstekende openbare bronnen over grondstoffen en hun toepassingen zijn online te vinden:

- Het Raw Material Information System van het JRC, de bundeling van vele Europese onderzoeksinitiatieven en voorzien van mooie visualisaties³
- De SCRREEN-database, met documenten gewijd aan vrijwel alle relevante abiotische grondstoffen in de economie⁴
- De “Monitor Materiaalstromen” tabellen van het CBS⁵
- De “critical minerals explorer” van het IEA, met als doel licht te werpen op de relatie tussen grondstoffen en de energietransitie⁶
- De databank van het Resource Panel van de Verenigde Naties, die een overzicht biedt van de allernieuwste gegevens over natuurlijke hulpbronnen, inclusief biotische hulpbronnen⁷

Het is belangrijk op te merken dat alle bovengenoemde datasets worden op continue basis worden onderhouden en bijgewerkt. Ze hebben institutionele steun die voortkomt uit het

³<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>

⁴<https://screen.eu/crms-2023/>

⁵<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2023/04/materiaalmonitor-2014-2016-2018-en-2020>

⁶<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/critical-minerals-data-explorer>

⁷<https://www.resourcepanel.org/data-resources>

inzicht in het belang van betrouwbare gegevens op macroniveau en het diepgaande onderzoek dat daarmee kan worden uitgevoerd.

De beschikbaarheid van gelicentieerde, niet-publieke datasets heeft het onderzoek naar grondstoffen en toeleveringsketens de afgelopen jaren gestimuleerd. Deze datasets bevatten (als voorbeeld) eigendomsgegevens die zijn verkregen door het combineren van openbare statistieken, bedrijfsregisters, online-informatie van beursgenoteerde bedrijven en aanvullende informatie van experts. Wat deze datasets gemeen hebben, is dat ze professioneel worden beheerd. In veel gevallen worden AI en andere geautomatiseerde zoektechnologieën ingezet om de datasets te verzamelen.

Deze datasets zijn vaak gemaakt om onderzoeksvragen te beantwoorden die weinig of geen verband houden met de veiligheid van de toeleveringsketen, maar eerder met algemene due diligence in de context van juridische of financiële diensten. Toch hebben deze datasets bewezen dat ze een belangrijke bijdrage aan supply chain-onderzoek kunnen leveren.

Een paar voorbeelden van deze gegevensbronnen zijn:

- Bloomberg Enterprise Data Catalog, met (onder andere) ESG-data, marktdata, productdata, prijsdata en event-driven data;
- S&P Panjiva Supply Chain Intelligence, met gegevens over marktaandelen, inkoop van goederen door bedrijven, het uitvoeren van risicoanalyses op bedrijfsniveau en advies over nieuwe mogelijke transacties;
- Everstream Analytics, met een reeks rijkelijk gevisualiseerde dashboards, met risicoscores en voorspellende beoordelingen van toeleveringsketens;
- RMG consulting, met informatie over de mondiale minerale economie en beleids- en strategieadvies, dat zichzelf heeft gevestigd als een onafhankelijke leverancier van gegevens over de mijnbouwindustrie in de wereld;
- Wood MacKenzie Metals & Mining, met gegevens over markten en investeringskosten voor vrijwel alle relevante metaalgrondstoffen;
- FactSet Supply Chain Relationships, met een wereldwijde dekking van bedrijven en transacties, inclusief een servicedesk voor efficiënte toegang tot datasets.

We zullen de inzet van Factset Supply Chain Relationships verder onderzoeken in dit rapport.

1.4 De eerste stap in elke supply chain: van grondstof naar ‘first intermediate’

1.4.1 Introductie van kritieke en strategische grondstoffen

De importafhankelijkheid van Europa en Nederland van grondstoffen heeft geleid tot de Critical Raw Materials Act (CRMA), die oproept tot acties om de tijdige beschikbaarheid van grondstoffen te waarborgen om onze publieke belangen te waarborgen. De focus van de CRMA ligt op de zogenaamde Critical en Strategic Raw Materials (CRM's en SRM's). Bijlage 1 geeft een overzicht van deze materialen.⁸

Het is een uitdaging om te achterhalen hoe grondstoffen zich verhouden tot de gehele keten, al is dit wel een essentiële stap in het bepalen van de impact ervan op publieke belangen. Recente inspanningen van het JRC⁹ en TNO¹⁰ waren precies daarop gericht: het identificeren van knelpunten in de toeleveringsketens tussen eindproduct en grondstof. In het laatstgenoemde rapport werd een methodologie ontwikkeld die specifieke productgroepen in de toeleveringsketen van een eindproduct identificeerde, de producerende landen van deze productgroepen bepaalde (door import- en exportgegevens per land te vergelijken zoals die gegeven worden in mondiale handelsstatistieken zoals Comtrade), en beoordeelde waar de knelpunten in die toeleveringsketen zich zouden kunnen bevinden.

Voortbouwend op die ervaring proberen we in dit rapport deze supply chain-analyses te benaderen vanuit de grondstof. De onderzoeksvragen voor dit onderzoek zijn: hoe en tot op welk detailniveau kunnen we de toeleveringsketens analyseren die beginnen met en afhankelijk zijn van een specifieke grondstof? Wat kunnen we vervolgens zeggen over de kwetsbaarheid van Nederland ten aanzien van die grondstof, in het besef dat dit een uiterst complexe vraag is, zeker gezien de complexe aard van de huidige industriële producten? Het beantwoorden van dergelijke vragen zou kunnen leiden tot een meer gerichte aanpak van het beleid dat is beschreven in de Nederlandse Grondstoffenstrategie (NGS) en tot een meer specifieke Nederlandse bijdrage aan de verdere ontwikkeling van de CRMA.

We beginnen onze analyse van toeleveringsketens door te kijken naar de eerste stap: materialen verwerkt uit grondstoffenertsen, de zogenaamde 'first intermediates' oftewel 'eerste tussenproducten'.

1.4.2 First intermediates: de eerste stap in toeleveringsketens

De Nederlandse import en het gebruik van (minerale en abiotische) grondstoffen zijn beperkt, met Tata Steel en Nyrstar als bekende uitzonderingen. Nederland importeert echter wel verwerkte materialen voor verdere industriële behoeften. Om de eerste stap van

⁸Een recent TNO-rapport van Bastein en Rietveld “Wat maakt een grondstoffen kritiek?” (ref xxx) beschrijft en verwijst naar de methodieken die leiden tot de CRM's en SRM's.

⁹JRC rapporteert over de toeleveringsketen xxx

¹⁰Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, september 2023

grondstoffen naar een volledige toeleveringsketen te vergemakkelijken, introduceerden we in eerder werk de term 'first intermediates' ('eerste tussenproducten'). Een first intermediate is een productgroep (met een productgroepcode in het Harmonised System) die nog steeds de naam van de oorspronkelijke grondstof in de naam bevat.

Een voorbeeld van een dergelijke lijst met 'first intermediates' voor magnesium (Mg) wordt gegeven in Tabel 1 grondstof en first intermediates voor magnesium

hs-code
beschrijving productgroep

251910
magnesium carbonate (magnesite); natural

251990
magnesia, fused or dead-burned (sintered); whether or not containing small quantities of other oxides added before sintering, other magnesium oxide, whether or not pure, (not natural magnesium carbonate)

253020
kieserite, epsomite (natural magnesium sulphates)

281610
hydroxide and peroxide of magnesium

282731
chlorides; of magnesium

283321
sulphates; of magnesium

810411
magnesium; unwrought, containing at least 99.8% by weight of magnesium

810419
magnesium; unwrought, containing less than 99.8% by weight of magnesium

810420
magnesium; waste and scrap

810430
magnesium; raspings, turnings and granules, graded according to size, powders

810490
magnesium, articles thereof nes

in dit overzicht van productgroepen worden de hs-6-cijferige codes voor productgroepen gebruikt . de codes beginnend met 25 staan voor de magnesiumhoudende mineralen. de

andere codes die met '2' beginnen, vertegenwoordigen chemicaliën die zijn gesynthetiseerd als eerste verwerkingsstappen na de recuperatie van mineralen uit de aarde. codes die beginnen met '8' vertegenwoordigen verdere stappen in de toeleveringsketen, zoals de productie van magnesiummetaal of producten die daarvan zijn gemaakt.

t

tabel 2 grondstof en first intermediates voor magnesium

hs-code
 beschrijving productgroep

251910
 magnesium carbonate (magnesite); natural

251990
 magnesia, fused or dead-burned (sintered); whether or not containing small quantities of other oxides added before sintering, other magnesium oxide, whether or not pure, (not natural magnesium carbonate)

253020
 kieserite, epsomite (natural magnesium sulphates)

281610
 hydroxide and peroxide of magnesium

282731
 chlorides; of magnesium

283321
 sulphates; of magnesium

810411
 magnesium; unwrought, containing at least 99.8% by weight of magnesium

810419
 magnesium; unwrought, containing less than 99.8% by weight of magnesium

810420
 magnesium; waste and scrap

810430
 magnesium; raspings, turnings and granules, graded according to size, powders

810490
 magnesium, articles thereof nes

Tabel 1 Grondstof en first intermediates voor magnesium

HS-code	Beschrijving productgroep

251910	Magnesium carbonate (magnesite); natural
251990	Magnesia, fused or dead-burned (sintered); whether or not containing small quantities of other oxides added before sintering, other magnesium oxide, whether or not pure, (not natural magnesium carbonate)
253020	Kieserite, epsomite (natural magnesium sulphates)
281610	Hydroxide and peroxide of magnesium
282731	Chlorides; of magnesium
283321	Sulphates; of magnesium
810411	Magnesium; unwrought, containing at least 99.8% by weight of magnesium
810419	Magnesium; unwrought, containing less than 99.8% by weight of magnesium
810420	Magnesium; waste and scrap
810430	Magnesium; raspings, turnings and granules, graded according to size, powders
810490	Magnesium, articles thereof nes

In dit overzicht van productgroepen worden de HS-6-cijferige codes voor productgroepen gebruikt ¹⁷. De codes beginnend met 25 staan voor de magnesiumhoudende mineralen. De andere codes die met '2' beginnen, vertegenwoordigen chemicaliën die zijn gesynthetiseerd als eerste verwerkingsstappen na de recuperatie van mineralen uit de aarde. Codes die beginnen met '8' vertegenwoordigen verdere stappen in de toeleveringsketen, zoals de productie van magnesiummetaal of producten die daarvan zijn gemaakt.

T

¹⁷gegevens zijn afkomstig uit de BACI-database zoals gebruikt door de Organization of Economic Complexity OEC; <https://games.oec.world/>

Tabel 2 Grondstof en first intermediates voor magnesium

HS-code	Beschrijving productgroep
251910	Magnesium carbonate (magnesite); natural
251990	Magnesia, fused or dead-burned (sintered); whether or not containing small quantities of other oxides added before sintering, other magnesium oxide, whether or not pure, (not natural magnesium carbonate)
253020	Kieserite, epsomite (natural magnesium sulphates)
281610	Hydroxide and peroxide of magnesium
282731	Chlorides; of magnesium
283321	Sulphates; of magnesium
810411	Magnesium; unwrought, containing at least 99.8% by weight of magnesium
810419	Magnesium; unwrought, containing less than 99.8% by weight of magnesium
810420	Magnesium; waste and scrap
810430	Magnesium; raspings, turnings and granules, graded according to size, powders
810490	Magnesium, articles thereof nes

Deze aanpak biedt een gemakkelijke en eerste stap naar een analyse van de toeleveringsketen. De kwaliteit van de gegevens en de consistentie met andere openbaar beschikbare handelsgegevens (Comtrade, Comext, Statline) zijn een punt van zorg en vereisen verdere beoordeling.

Bekende nadelen van het gebruik van deze databases zijn:

- De fouten die gemaakt kunnen worden bij het administreren van import of export van goederen
- Het soms zeer breed omschrijven van de productgroepen waardoor artikelen van zeer uiteenlopende kwaliteiten onder één code worden geadmineistreerd
- Het ontbreken van inzicht in de binnenlandse handel
- Het soms onduidelijke onderscheid tussen export en wederuitvoer.

In bijlage 2 presenteren we een volledige lijst van grondstoffen en first intermediates zoals opgehaald uit de BACI-database voor de meeste CRM's en SRM's (zie bijlage 1). In deze tabel zijn de codes en namen van productgroepen weergegeven, samen met hun wereldhandel en import- en exportcijfers voor Nederland.

Op basis van de gegevens uit bijlage 2 kunnen hier enkele opmerkingen worden gemaakt:

- Voor sommige kritieke grondstoffen zijn kwantitatieve gegevens op basis van deze mondiale handelsstatistieken niet mogelijk, aangezien hun handel onder één handelscode wordt gerapporteerd; dit is het geval voor germanium (Ge) en gallium (Ga)¹², maar ook voor niobium (Nb) en tantaal (Ta)¹³

¹² Onder HS-code 811292 vallen niet alleen gallium en germanium, maar ook hafnium, indium, niobium (columbium), renium en vanadium.

¹³ HS-code 261590 omvat niobium-, tantaal- en vanadiumertsen en -concentraten

- Uit deze gegevens blijkt dat Nederland duidelijk een handelsnatie is; van de 192 grondstoffen en first intermediates heeft Nederland voor 57 productgroepen een aandeel in de mondiale import van ruim 3%. Voor 45 productgroepen exporteert Nederland ruim 3% van de mondiale export.¹⁴

De productgroepen met de hoogste netto import- en exportcijfers zijn weergegeven in Tabel 3. Deze cijfers suggereren dat óf een significante consumptie in Nederland plaatsvindt, óf dat een significante industriële productie van dat materiaal in Nederland plaatsvindt.

¹⁴ NB: het aandeel van het Nederlandse bbp versus het mondiale bbp bedraagt ongeveer 1%

Tabel 3 Hoogste netto geëxporteerde en geïmporteerde productgroepen (bron OEC/BACI)

Grootste import		Grootste export	
282530	Vanadium oxides and hydroxides	293131	Organo-inorganic compounds; organo-phosphorus derivatives, dimethyl methylphosphonate
811010	Antimony and articles thereof: unwrought antimony, powders	291910	Esters: phosphoric, and their salts, including lactophosphates, their halogenated, sulphonated, nitrated or nitrosated derivatives: tris(2,3-dibromopropyl) phosphate
811211	Beryllium, unwrought, waste or scrap/powders	7405	copper alloys
811000	Antimony, articles thereof, waste or scrap	281610	Hydroxide and peroxide of magnesium
811090	Antimony, articles thereof, wrought, other than waste or scrap	282731	Chlorides; of magnesium
283325	copper sulphates	282540	Nickel oxides and hydroxides
261100	tungsten ores and concentrates	382491	(5-ethyl-2-methyl-2-oxido-1,3,2-dioxaphosphinan-5-yl)methyl methylphosphonate and bis[(5-ethyl-2-methyl-2-oxido-1,3,2-dioxaphosphinan-5-yl)methyl]methylphosphonate
811299	Articles of rare earths/metals nes	293132	Organo-inorganic compounds; organo-phosphorus derivatives, dimethyl propylphosphonate
720292	ferro-vanadium	720211	Ferro-alloys; ferro-manganese, containing by weight more than 2% of carbon
282090	Manganese oxides; excluding manganese dioxide	310551	fertilizers wiith nitrates and phosphates, nes, <10kg
810430	Magnesium; raspings, turnings and granules, graded according to size, powders	292320	Lecithins and other phosphoaminolipids
28910	diphosphorus pentaoxide		
720293	ferro-niobium		
282735	Nickel chloride		
720280	ferro tungsten and ferro-silico-tungsten		
811213	Beryllium; waste and scrap		

Op basis van deze analyse is in de “Voortgangsrapportage Nationale Grondstoffenstrategie”¹⁵ behorende bij de “Voortgangsbrief Nationale Grondstoffenstrategie” van 22 december 2023 aangegeven dat nader (keten)onderzoek gewenst is voor ferro-legeringen van Niobium, Vanadium en Wolfram, Antimoon-verbindingen en Nikkel. Op basis van Kamervragen zijn in deze voortgangsrapportage germanium, gallium en lithium ook als prioriteit voor nader onderzoek genoemd, alsmede de materialen natuurlijk grafiet, mangaan en magnesium (deze laatste twee op basis van CBS-onderzoek). In dit rapport wordt een eerste aanzet gedaan voor het opbouwen van inzichten en dossiers over de ketens van deze materialen. Daarbij is in dit rapport de aandacht uitgegaan naar germanium, ferro-vanadium en nikkel. De overige ketens rond kritieke materialen zullen in vervolgonderzoek aan bod komen.

1.4.3 Focus op drie ketens: gebaseerd op Ge, (Fe)V en Ni

Dit rapport heeft niet de ambitie noch de reikwijdte om de afhankelijkheid van de gehele Nederlandse economie van de voldoende beschikbaarheid van alle CRM's en SRM's te beschrijven. In plaats daarvan duiken we in de verschillende methodologische stappen en inzichten die kunnen worden gehaald uit deskresearch, inzichten van experts en interviews en eerder ontwikkelde en gerapporteerde methoden¹⁶. We onderzoeken verder welke gegevens van de data geleverd door FactSet aan deze inzichten kunnen toevoegen.

We doen dit aan de hand van drie casestudies: germanium (Ge) (hoofdstuk 2), ferrovanadium (FeV) (hoofdstuk 3) en nikkel (Ni) (hoofdstuk 4). We hebben voor deze drie materialen gekozen vanwege de volgende redenen:

- Ge kreeg ruime aandacht toen in augustus 2023 Chinese exportmaatregelen werden ingesteld voor germanium en gallium. Deze gebeurtenis leidde tot vragen over de gevolgen van deze maatregelen in bijvoorbeeld de Tweede Kamer.
- FeV en vergelijkbare legeringen op ijzerbasis (zoals ferro-niobium en ferro-tantaal) vertegenwoordigen een zeer belangrijke groep materialen voor onze metaal- en apparatuurindustrie; uit de eerste BACI-analyses (zie bijlage 2) bleek dat de Nederlandse importpositie op wereldschaal indrukwekkend was, wat zou kunnen wijzen op een aanzienlijk binnenlands verbruik van FeV;
- Voor Ni werd een soortgelijke waarneming gedaan: Nederland bleek voor diverse Ni-verbindingen aanzienlijke importposities te hebben. Ni is een belangrijk ingrediënt voor diverse staalsoorten die van belang kunnen zijn voor de Nederlandse (basis)metaal- en apparatenindustrie.
- Bovendien wordt verwacht dat alle materialen de komende decennia een aanzienlijke groei zullen doormaken in verband met de ICT-ontwikkeling (Ge) en de energietransitie (Ni in EV-batterijen en V in redoxflow-batterijen).

Hoofdstuk 5 evalueert de inzichten uit de methodologieën die in de voorgaande hoofdstukken zijn ontwikkeld en onderzocht en beschrijft relevante toekomstige stappen voor het Nederlands Materialen Observatorium (NMO).

1.5 Structuur van het rapport

¹⁵ Voortgangsrapportage Nationale Grondstoffenstrategie, 22 december 2023, referentie DGBI-TOP / 43841053

¹⁶ Zie TNO-rapport van Bastein en Rietveld “Wat maakt een grondstoffen kritiek?” (ref xxx)

Hoofdstukken 2, 3 en 4 beschrijven bevindingen over germanium, ferrovanadium en nikkel. Deze hoofdstukken geven gegevens over de productie, verwerking en eindtoepassingen van deze grondstoffen. We proberen de toeleveringsketen te beschrijven die deze grondstoffen verbindt met 'downstream' (stroomafwaarts) materialen en/of eindproducten. Hoofdstuk 4, gewijd aan nikkel, onderzoekt aanvullende inzichten die zijn verkregen door het gebruik van Factset.

Hoofdstuk 5 beschrijft relevante toekomstige stappen voor methodologieontwikkeling en supply chain-analyses voor het Nederlands Materialen Observatorium (NMO).

2 Ketenganalyse van germanium

2.1 Waarom aandacht voor germanium?

Germanium (Ge) is één van grondstoffen die al als kritiek wordt beschouwd (oftewel: wordt gezien als CRM) ¹⁷ sinds de eerste publicatie van deze lijst in 2010. ¹⁸ Een nadere analyse van de rol die germanium speelt in de Europese en Nederlandse economie zou al gerechtvaardigd zijn door de aanwezigheid van Ge op de CRM-lijst en de toepassingen op hightech gebied (waaronder glasvezels, infrarood optiek, zoals nachtzichtapparatuur, specifieke lichtgewicht zonnepanelen). Germanium (en gallium) kregen echter brede aandacht als gevolg van de aangekondigde exportmaatregelen die de dominante producent China in juli 2023 aankondigde en die op 1 augustus 2023 in werking zouden treden.

In de formele verklaring van het Chinese Ministerie van Handel stond dat “Gallium en germanium vanaf 1 augustus onderworpen zullen zijn aan exportcontroles “om de nationale veiligheid en belangen te beschermen” ¹⁹. Vanaf dat moment zouden exporteurs van deze grondstoffen speciale toestemming van de staat moeten aanvragen om ze te kunnen exporteren.

Hoewel er onmiddellijk zorgen ontstonden over de mogelijke gevolgen van deze exportmaatregelen voor de Europese hightechindustrieën, is de impact van de maatregelen niet vanzelfsprekend. De mogelijke gevolgen zouden verband kunnen houden met de toeleveringsketen die afhankelijk zijn van germanium en de rol die Europese en mogelijk Nederlandse industriële partijen daarin spelen. Op de toeleveringsketens waarin germanium een rol speelt komen we terug in paragraaf 2.4.

Analisten zoals Tim Worstall suggereerden dat de impact van de maatregelen niet overdreven mag worden en dat zink producerende landen zouden kunnen investeren in het genereren van alternatieve voorraden, aangezien Ge een bijproduct is van de

¹⁷De kritikaliteit is altijd beoordeeld op basis van een hoog aanbodrisico en een aanzienlijk economisch belang; Het belangrijkste aspect dat bijdraagt aan het aanbodrisico is de concentratie in het bronland, de afwezigheid van recyclingactiviteiten en de afwezigheid van realistische vervangingen. Een grondige analyse van de beoordelingen van de kritikaliteit is te vinden in de publicatie van 2017 van JRC: METHODOLOGY FOR ESTABLISHING THE EU LIST OF CRITICAL RAW MATERIALS

¹⁸Die lijst bevatte slechts 14 CRM's terwijl de meest recent gepubliceerde lijst in 2022 uit 33 CRM's bestond

¹⁹Zie bijvoorbeeld <https://edition.cnn.com/2023/07/03/business/germanium-gallium-china-export-restrictions/index.html> en tal van andere persberichten in die week.

“DON'T WORRY ABOUT CHINA'S GALLIUM AND GERMANIUM EXPORT BANS”

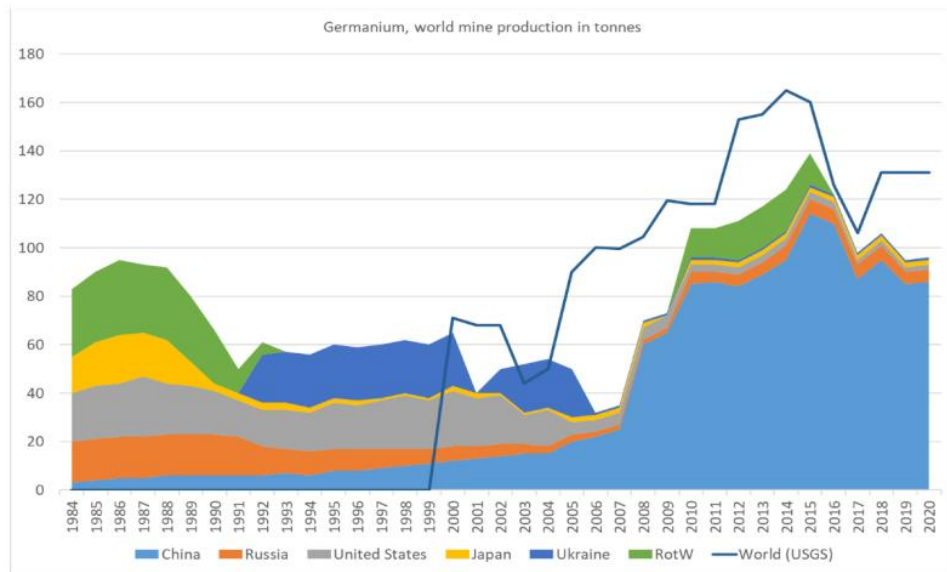
Tim Worstall (senior fellow aan het Adam Smith Institute in Londen) adviseerde: " *Don't Worry About China's Gallium and Germanium Export Bans*". Hij verklaarde dat " *it would take a few years, at most, for Western countries to secure alternative supplies*". Zijn uitspraak heeft betrekking op een specifiek aspect van materialen als germanium: germanium wordt niet gewonnen, maar wordt geraffineerd uit (zink)ertsen als zogenaamd begeleidend materiaal. Dus, zoals Worstall het uitdrukte: " *There can be – and is in this case – a shortage of plants that extract and refine, but not of the base material. So, the solution is a couple more plants to extract and refine gallium and germanium*"

Worstall stelt dat " *there's no reason for that shortage other than the fact that China has been doing such work cheaply these past years, so Western plants have been idled. (...). Some of those Western plants have already been spinning up again these past couple of years, and more could be built simply enough. This is all known technology, it simply requires the desire to build it rather than anything else. (...). It's purely a money and effort issue for the rest of the world to go back to doing for ourselves what we've been using China to do cheaply.*"

zinkverwerking. Op de winning van germanium uit steenkoolvliegias en zinkerts komen we in paragraaf 2.3.

Deze waarnemingen van Worstall worden bevestigd door de gegevens over de wereldproductie sinds 1994, zoals gepubliceerd door het SCRREEN-project.²⁰ Pas na de drastische stijging van de germaniumproductie sinds 2007 leek de Chinese productie dominant te zijn. Vóór die periode werd er een aanzienlijke productie gerapporteerd uit Rusland, de VS en Oekraïne.

²⁰Deze gegevens worden gepubliceerd op https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/09/SCRREEN2_factsheets_GERMANIUM-1.pdf; SCRREEN is de naam van het EU-project waarin een breed consortium relevante data voor CRM's verzamelt.



Figuur 1 Wereldproductie van germanium (RotW = Rest van de wereld) (bron: SCRREEN)

Soortgelijke argumenten werden naar voren gebracht door de IEEE,²¹ die grote gebruikers van germanium (en gallium, waarvoor de exportmaatregelen ook golden) aanhaalde, die geen tekorten ondervonden. De IEEE suggereerde ook dat het opvoeren van de productie buiten China relatief snel zou kunnen gebeuren.

Ondanks de observaties dat de germaniumproductie relatief snel gediversifieerd zou kunnen worden, is het nodig om de toeleveringsketen van germanium nader te bekijken om de mogelijke gevolgen van verstoringen van het aanbod en de dominantie van China als de (huidige) belangrijkste producent van germanium te kunnen beoordelen.

2.2 Productie en productieconcentratie van germanium

Germanium wordt niet gewonnen als grondstof, maar voornamelijk als bijproduct van zinkertsen van het sphaleriettype. Dergelijke bijproducten worden ook wel 'companions' genoemd (zie kader). Ongeveer 60-70% van het germanium is afkomstig van deze route. De resterende 30-40% wordt gewonnen uit vliegias uit kolencentrales in China en Rusland; in feite komt al het Russische germanium voort uit de winning van steenkoolvliegias.

De evolutie van de productie van germanium en de mondiale distributie ervan werden al weergegeven in Figuur 1. Een andere weergave (gebaseerd op BGS-cijfers) wordt gegeven in Figuur 2. Germanium behoort tot de kritieke en strategische grondstoffen met de hoogste productieconcentratie,²² gekenmerkt door een HHI (zie tekstbox) van 8.393 (op basis van BGS-data), bij een gewogen WGI-score (zie tekstbox) van -0,25 (tussen -2,5 en + 2,5; -2,5

²¹<https://spectrum.ieee.org/gallium-and-germanium>

²² Vergelijkbaar met gallium (Ga) met een productie van meer dan 90% in China en metalen uit de platinagroep (PGM) met ongeveer 90% productie in Zuid-Afrika.

staat voor de slechtste score). Beide indicatoren zijn weergaven van de Chinese dominantie in de productie.

Deze combinatie van HHI- en WGI-scores, samen met een gebrek aan recycling en de

ANALYSE VAN KNELPUNTEN IN DE KETEN: INTRODUCTIE VAN HHI EN WGI

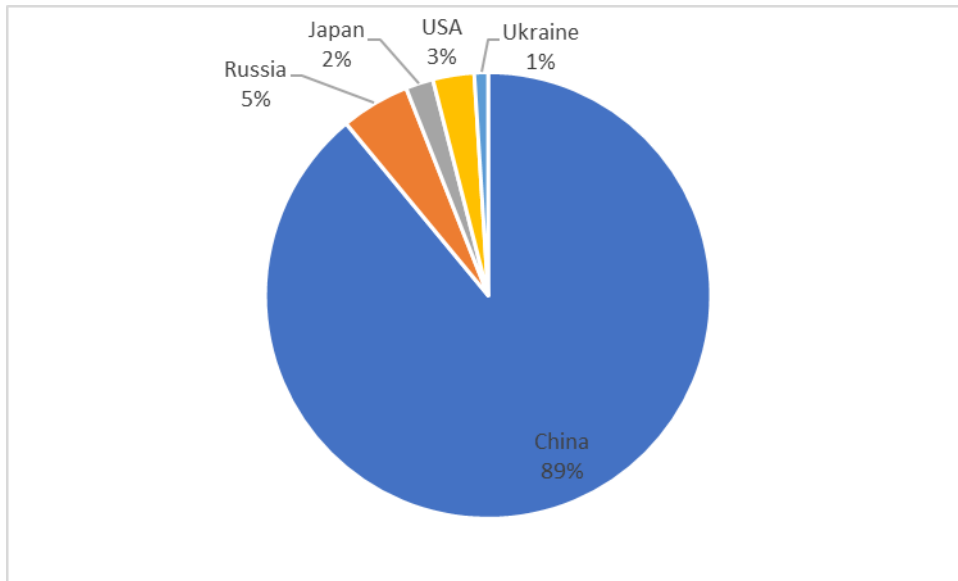
Voor de beoordeling van kritikaliteit en knelpunten in toeleveringsketens beoordelen we de concentratie van producerende landen en de gemiddelde stabiliteit van producerende landen

De concentratie van het producerende land wordt over het algemeen weergegeven door de Herfindahl-Hirschmann-indicator HHI. De HHI wordt berekend door een som te nemen van het kwadraataandeel van het land in de productie. Daarom is de hoogste waarde van HHI 10.000, d.w.z. 100%². Een waarde van meer dan 2.500 wordt over het algemeen beschouwd als een ongewenst hoge productieconcentratie.

De gemiddelde stabiliteit van deze producerende landen is gebaseerd op de World Governance Index (WGI), zoals gepubliceerd door de Wereldbank. Deze waarden variëren tussen -2,5 (slechtst scorende landen) en +2,5 (best scorende landen). De gemiddelde WGI wordt vervolgens berekend door het gewogen gemiddelde van de WGI-scores voor elk producerend land te nemen.

Hogere risico's op verstoring van de bevoorrading worden gekenmerkt door een hoge HHI (d.w.z. hoger dan 2,50) en door een lage (d.w.z. ongunstige) WGI. Een WGI-waarde lager dan 0,13 (d.w.z. slechter dan het minst presterende EU-land) kan als ongunstig worden beschouwd.

afwezigheid van relevante substituten, leidt tot een kwalificatie van Ge als CRM.



Figuur 2 Mondiale verdeling van Ge-productie

Schattingen voor de mondiale primaire productie lopen uiteen:

- De USGS rapporteert een jaarlijkse productie van ongeveer 140 ton (in de jaren 2020-2021) zonder de binnenlandse productie openbaar te maken (“om te voorkomen dat bedrijfseigen gegevens openbaar worden gemaakt”)²³
- De SCRREEN-gegevens rapporteren een gemiddelde productie van 111 ton over de jaren 2016-2020
- De British Geological Survey (BGS) rapporteert een totale primaire productie van 93 ton, waarvan ruim 91% afkomstig is uit China.

Deze variatie in gegevens is gerelateerd aan de niet-transparante handel in germanium. Dit soort materialen wordt niet verhandeld op beurzen zoals de London Metal Exchange, waardoor zowel prijsvorming als de mate van internationale productie niet eenduidig te achterhalen zijn.

Naast deze onzekerheden bestaat er enige onduidelijkheid over de toewijzing van secundair aanbod; Hoewel er geen sprake is van recycling van eindproducten aan het einde van de levensduur, bieden de kosten van germanium voldoende prikkels om productieschroot uit de productie van glasvezel- en infrarood optiek te recyclen. De geclaimde productiecapaciteiten van België en Duitsland (>10 t/j) kunnen aan dergelijke stromen worden toegeschreven. De door het SCRREEN-project samengestelde factsheets beweren zelfs dat meer dan 50% van de jaarlijkse Europese vraag naar germanium gedekt kan worden door deze recyclingstromen van productieschroot.

²³USGS Mineral Commodity Samenvattingen - gegevens over Germanium, januari 2022

EEN BIJZONDERE GROEP GRONDSTOFFEN: COMPANIONS

Veel minerale grondstoffen worden alleen gewonnen als bijproducten ('companions') van andere grondstoffen (de zogenaamde 'hosts'). In dergelijke gevallen zal de winstgevendheid van de mijn niet afhangen van de extractie van de companion. Bovendien worden de meeste companions alleen gewonnen tijdens de raffinage (bijvoorbeeld tijdens de elektrolytische winning van koper en zink), die in veel gevallen op verschillende locaties en vaak zelfs in verschillende landen plaatsvindt van waaruit het (host)erts wordt gewonnen.

In de tabel wordt de relatie tussen companions en hosts gegeven: de cijfers in de tabel geven het percentage van een companion (in de rijen) aan dat afkomstig is van de aangegeven host-materialen (in de kolommen). Als voorbeeld: 60% van het germanium is afkomstig uit zinkertsen.

Companion	host								
	Al	Ti	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Sn	K
Gallium	95								
Zirconium		100							
Zeldzame aardelementen			24-67						
Vanadium			62						
Kobalt				50	35				
Rhenium					100				
Selenium					90				
Telluur					60				
Molybdeen					46				
Germanium						60			
Indium						80			
Antimoon							40		
Scandium								50	
Lithium									52

De productiecapaciteit (of de mogelijke groei daarvan) van een companion kan sterk samenhangen met die van de host. Als er sprake is van maximale extractie van companions, is het moeilijk om aan een extra groei van de vraag naar een companion te voldoen.

Als de maximale capaciteit van companion extractie echter niet wordt bereikt, kan de companion productie aanzienlijk sneller worden opgevoerd dan de mijnbouwcapaciteit.

2.3 Wat zijn de germaniumreserves: de rol van zinkwinning

De toewijzing van reserves is notoir onzeker. Dit is nog erger voor materialen die alleen als companion worden geproduceerd tijdens de verwerking van het 'gast'-materiaal. Het is om deze reden dat de USGS geen Ge-reserves rapporteert. De definitie van Ge 'reserves' zal altijd verband houden met de verwerking van het gastmateriaal, namelijk zink.

Gebaseerd op het verband tussen Ge en Zn kunnen de germaniumreserves worden afgeleid door schattingen van het germaniumgehalte van zinkafzettingen - en meer bepaald van sphalerietafzettingen ²⁴. Natuurlijk zijn er ook tamelijk rijke germaniumreserves te vinden in steenkool; dit kan als een minder toekomstbestendige hulpbron worden beschouwd.

Een uitgebreide meta-analyse van de literatuur waarin het gehalte aan companions (waaronder germanium) in sphaleriet-zinkertsen wordt gerapporteerd is verricht door Frenzel et al. ²⁵ Op basis van gegevens van meer dan 500 afzettingen beoordelen ze gemiddelden van elementaire samenstellingen voor Ge in verschillende soorten sphalerietafzettingen. Het hoogste Ge-niveau wordt waargenomen bij MVT-afzettingen (Mississippi Valley-type): tussen 45 en 89 ppm met een gemiddelde van 63 ppm. De MVT-afzetting vertegenwoordigt 17% van de wereldwijde zinkvoorraden. De vier andere soorten afzettingen bevatten tussen de 1,4 en 5 ppm Ge. Gegeven het gewogen gemiddelde van de analyses van de verschillende typen sphalerietafzettingen bedraagt het gemiddelde Ge-gehalte van deze ertsen 15%. Voor een schatting van de Ge-reserve kan het heel goed zijn dat alleen het Ge-gehalte van de MVT-afzettingen waardevolle Ge-concentraties opleveren voor extractie. Dit is nu niet nader onderzocht.

De USGS Mineral Commodity Summaries schatten dat de zinkertsreserves 220 miljoen ton bedragen. Gegeven een gemiddeld zinkgehalte van zinksphalerietertsen van 64%, bedragen de reserves in termen van sphaleriet ongeveer 343 miljoen ton. Bij een gemiddeld Ge-gehalte van 15 ppm kunnen de Ge-reserves in mondiale sphalerietafzettingen worden geschat op 5.125 ton. Dit komt overeen met een productiereserve (R/P-ratio) van 37 jaar. Als echter alleen de meest geconcentreerde ertsafzetting (MVT) als waardevol kan worden beschouwd voor verdere Ge-verwerking, neemt deze reserve af met 3.770 t Ge en een R/P-verhouding van 27 jaar.

Een andere manier om naar Ge-reserves op de korte termijn te kijken houdt verband met de hoeveelheid Ge die momenteel wordt gewonnen uit de zinkertsen die worden gewonnen en verwerkt. Als er een verschil is tussen wat uit deze zinkertsen kan worden gewonnen op basis van het Ge-gehalte en wat daadwerkelijk wordt gewonnen, zou je kunnen spreken van een 'reserve' (of een 'industriële mijn') die vrij eenvoudig kan worden geëxploiteerd door te investeren in Ge extractie-installaties.

Op basis van gegevens van de USGS wordt geschat dat er jaarlijks 12 miljoen ton zink wordt gewonnen. Met een gemiddeld Ge-gehalte van 15 ppm kan de Ge-productie oplopen tot 280 ton. Wanneer we uitgaan van een jaarlijkse Ge-productie van 140 ton, betekent dit dat de

²⁴<https://en.wikipedia.org/wiki/Sphaleriet>: Sphaleriet (soms gespeld als sphaeleriet) is een sulfidemineraal met de chemische formule (Zn,Fe)S. Het is het belangrijkste erts van zink.

²⁵Max Frenzel, Tamino Hirsch, Jens Gutzmer, Gallium, germanium, indium en andere sporen- en kleine elementen in sphaleriet als functie van het afzettingstype - Een meta-analyse, Ore Geology Reviews Volume 76, juli 2016, pagina's 52-78; <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.12.017>

Ge-productie kan worden verdubbeld als alle Ge wordt gewonnen uit gedolven zinkertsen. De USGS gaat er zelfs van uit dat slechts 3% van het huidige Ge-gehalte in zinkconcentraten wordt teruggewonnen (hoewel dit een zeer hoog Ge-gehalte in zinkertsen zou veronderstellen).

Een voorbeeld van een dergelijke potentiële bron voor Ge is het projectplan van de Nederlandse zinkverwerker Nyrstar, die van plan is de activiteiten in Clarksville (Tennessee, VS) uit te breiden. Dit zou de fabriek tot een belangrijke leverancier van gallium en germanium maken: *“The proposed \$150 million facility has received support from the Tennessee General Assembly. (....) the proposed Nyrstar facility would process residue from the zinc plant’s existing production ponds. It’s estimated that the Nyrstar could produce an estimated 30 tons of germanium and 40 tons of gallium in Tennessee, and the new Clarksville facility could provide for 80 percent of the U.S.’s germanium and gallium needs..”*²⁶. Gebaseerd op de USGS-schatting van een jaarlijkse productie van 140 ton, zou deze investering alleen al de mondiale productie met meer dan 20% verhogen.

Momenteel valoriseren de Europese vestigingen van Nyrstar een breed scala aan metalen en bijproducten,²⁷ maar produceren ze geen Ge in Europa. Volgens de eigen inschatting van Nyrstar zou de Ge-input van Nyrstar in de orde van grootte van 15 t/j liggen, waarvan momenteel niets gevaloriseerd wordt. Deze 15 ton zouden de huidige Europese Ge-behoefte dekken, zoals geschat door SCRREEN²⁸. De totale waarde van deze activa zou in de orde van grootte van 18 miljoen euro per jaar liggen (gebaseerd op de huidige Ge-prijs gegeven in paragraaf 2.6).

Bij beide beoordelingen wordt geen rekening gehouden met het Ge-gehalte van steenkool (en dus van vliegashoudende steenkoolcentrales). Wanneer we dat doen, zijn de reserves (volgens beide benaderingen) hoger dan hier gerapporteerd.

2.3.1 Diversificatie van het germaniumaanbod op basis van zinkwinning

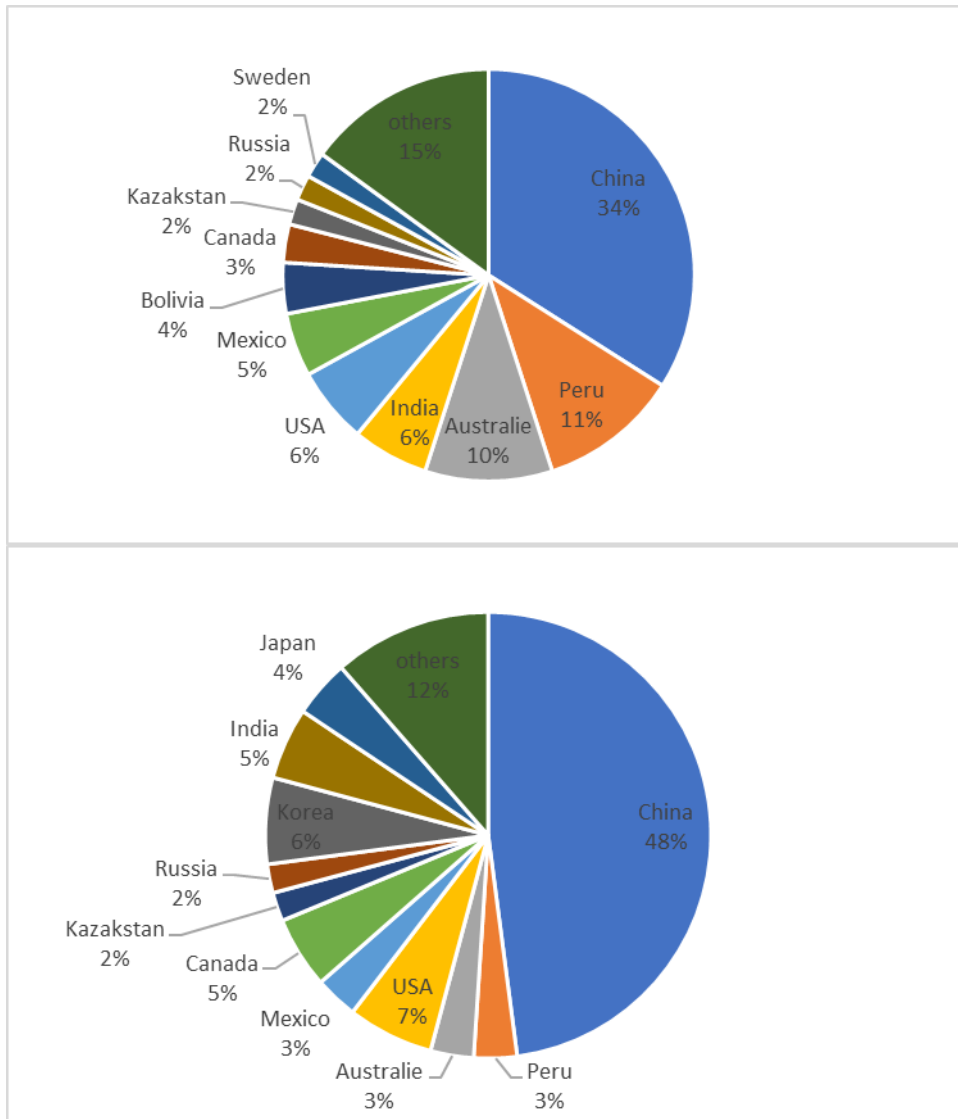
De mate waarin import afkomstig is uit een klein aantal landen is een sterke indicator voor kritikaliteit, uitgedrukt door de indicator HHI. Gezien de argumenten van paragraaf 2.3 zou de importconcentratie voor Ge veel lager kunnen zijn als alle zink producerende en zinkverwerkingsfaciliteiten Ge zouden winnen. De mondiale distributie van zowel de zinkwinning als de zinkverwerking wordt weergegeven in de volgende figuren²⁹.

²⁶<https://clarksvillenow.com/local/nyrstar-plans-expansion-of-clarksville-plant-with-90-million-germanium-gallium-processing-facility/>; <https://www.nyrstar.com/operations/metals-processing/nyrstar-clarksville>

²⁷Dit omvat zink, lood, zilver, goud, koper, indium, cadmium en bismut

²⁸https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/09/SCRREEN2_factsheets_GERMANIUM-1.pdf

²⁹Gegevens uit THE WORLD ZINC FACTBOOK 2020, gepubliceerd door de International Lead and Zinc Study Group (ILZSG)



Figuur 3 Mondiale distributie van zinkwinning (boven) en zinkverwerking (onder) (bron: ILZSG)

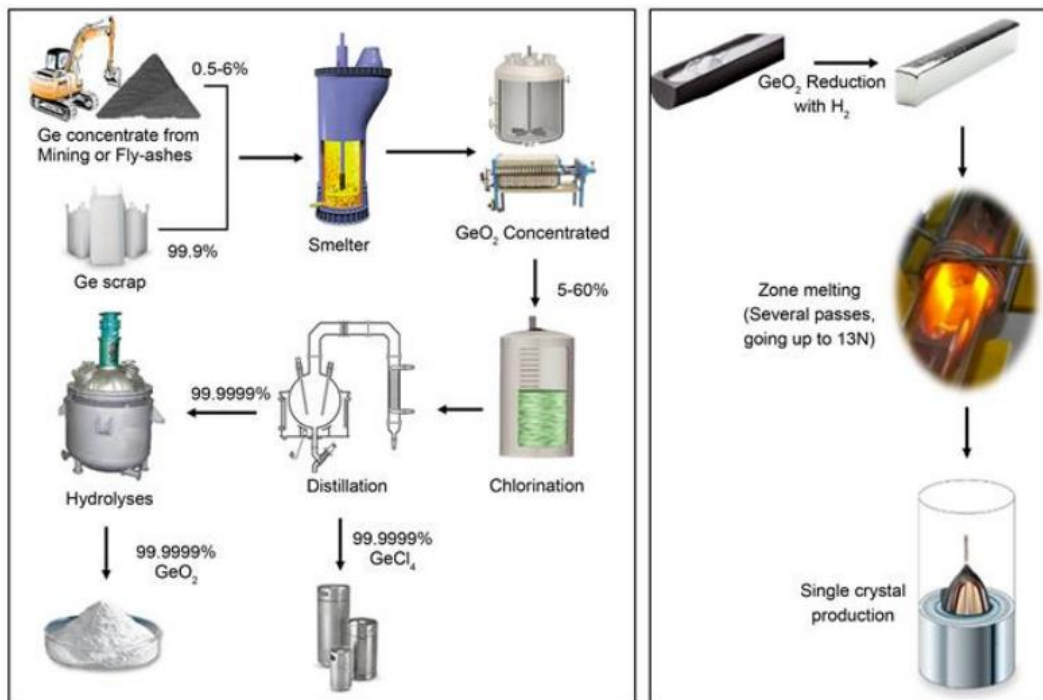
Het contrast van deze verdeling met die voor Ge is opvallend: veel meer landen winnen en verwerken zink dan Ge (de respectieve HHI-waarden zijn 1526 en 2300; beide waarden zijn zo laag dat zink nog niet de status van kritiek heeft bereikt). Uit deze cijfers blijkt duidelijk dat de kritikaliteit van Ge zou kunnen worden verlicht als alle zinkverwerkende landen zouden worden gestimuleerd om Ge te winnen.³⁰ Dergelijke prikkels zijn door de Chinese overheid gebruikt om de extractie van Ge te stimuleren.³¹

³⁰Zie ook de argumenten in paragraaf 2.1.

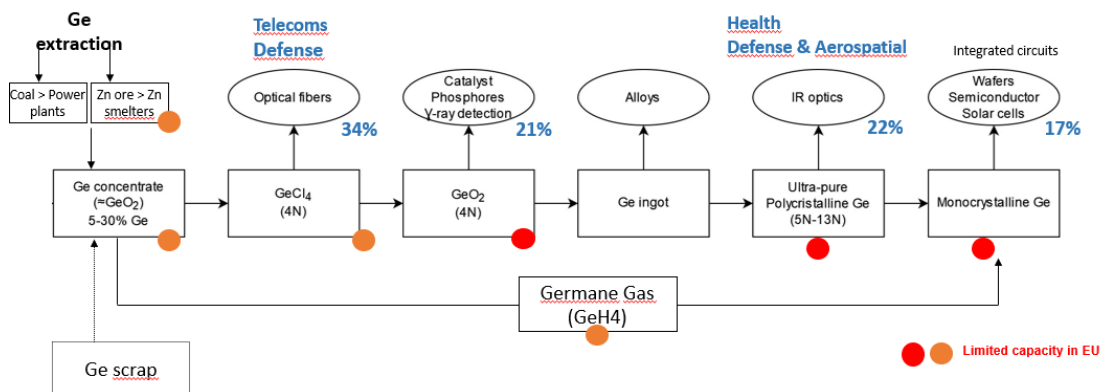
³¹SCREEN factsheet over Ge

2.4 Verwerking en (groei van) toepassingen van germanium

De toepassingen van Ge zijn gebaseerd op de chemische verbindingen die ontstaan na de eerste extractie uit zinkertsen en vliegash. De processen die leiden tot Ge-oxiden, chloriden, metaal en enkele kristallen worden getoond in Figuur 4 en Figuur 5.



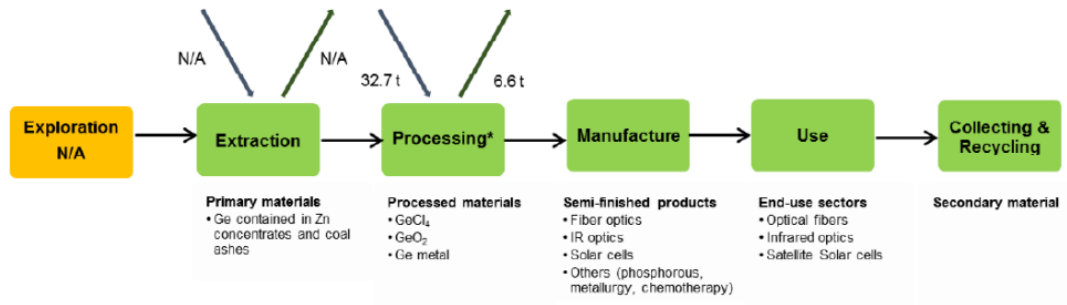
Figuur 4 Processtappen voor Ge (bron: SCREEN)



Figuur 5 Chemische verbindingen op basis van Ge (bron: OFREMI/DERA-analyse)

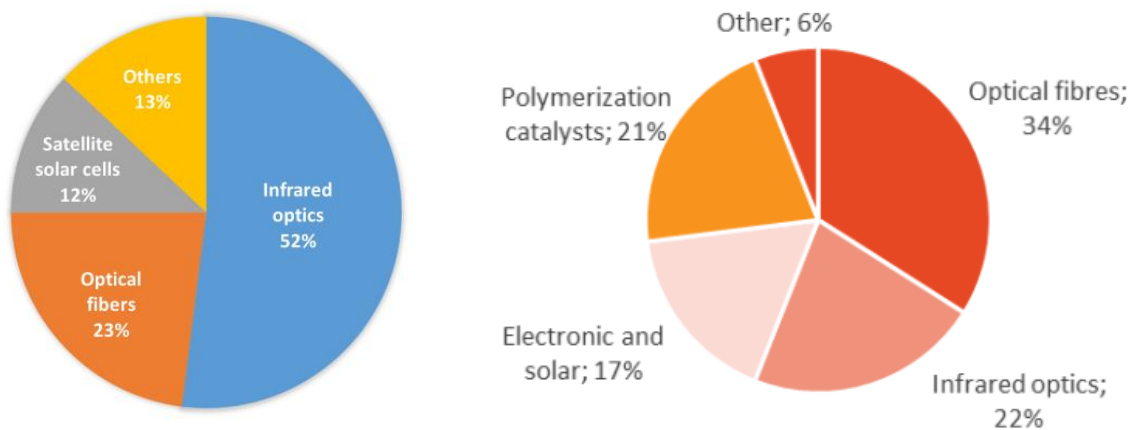
Uit de beoordeling van OFREMI en DERA blijkt dat de meeste van de stroomafwaartse chemische verbindingen niet over voldoende productiecapaciteit in de EU beschikken. In hun beoordeling wordt met name de capaciteit voor glasvezel als een knelpunt beschouwd. De

analyse beweert ook dat “de capaciteiten van de EU om germaniumverbindingen of derivaten met een hoge zuiverheid te produceren bijzonder kritisch lijken.” Dit geldt vooral voor zuiverheden boven 4N (d.w.z. meer dan 99,99% zuiver).³²



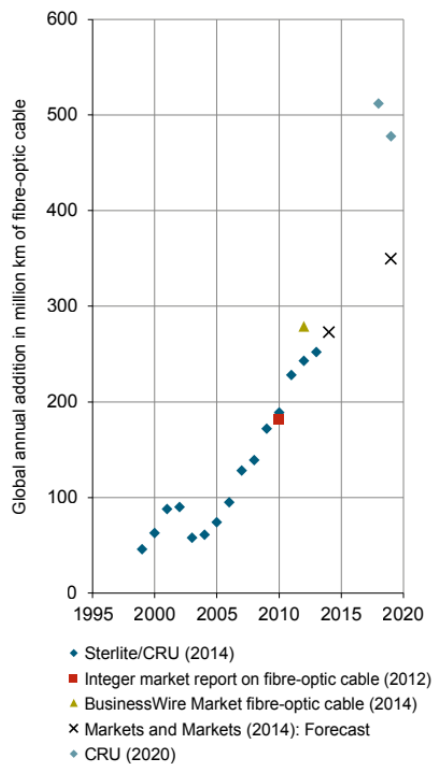
Figuur 6 Toeleveringsketen van Ge-verbindingen en hun toepassingen (bron: SCREEN)

De hoeveelheid Ge (in de vorm van verschillende chemische verbindingen) die in de EU wordt geïmporteerd, bedraagt ongeveer 14 ton per jaar. De EU-toepassingen zijn voornamelijk infrarood optiek en optische vezels en in iets mindere mate lichtgewicht zonnepanelen (voor luchtvaarttoepassingen. Mondiaal gezien wordt hiernaast Ge ook ingezet voor specifieke polymerisatiekatalysatoren en) en elektronica.



Figuur 7 EU finale toepassingen (links) en mondiale toepassingen (rechts) (bron: SCREEN)

³² NB: 4N zuiverheid komt overeen met 99,99% zuiver; 5N is gelijk aan een zuiverheid van 99,999%, enzovoort.



Figuur 8 Mondiale toegevoegde lengte van glasvezels per jaar (bron: Fraunhofer)

De belangrijkste toepassing van Ge in lenzen komt voort uit de transparantie in het infrarode deel van het spectrum, waardoor het toepasbaar is voor militaire toepassingen zoals nachtkijkers. Toepassingen buiten het leger zijn onder meer geavanceerde brandbestrijdingsapparatuur, satellietbeeldsensoren en medische diagnostiek.

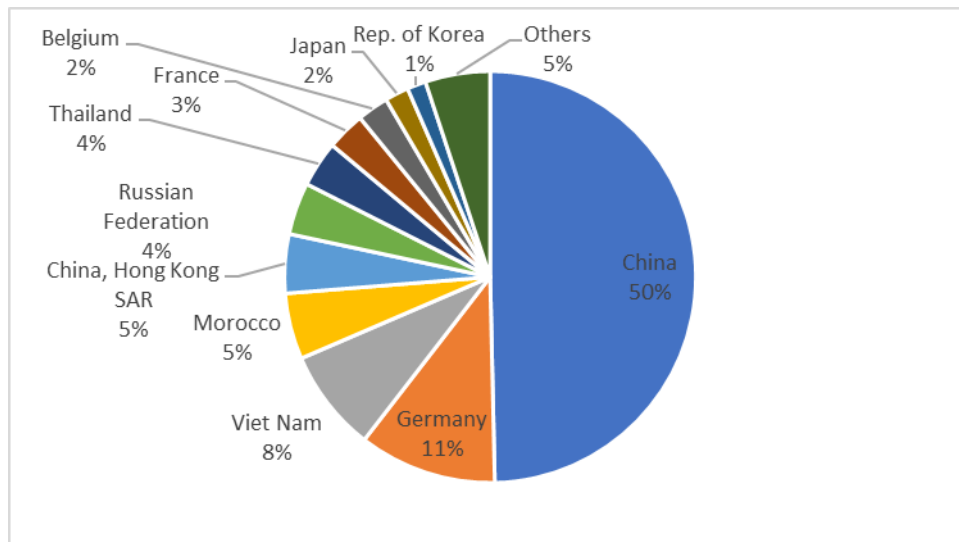
Verschillende Europese bedrijven die actief zijn in het defensiedomein zijn op dit gebied actief, waaronder de Thales Group (Frankrijk), BAE Systems (Verenigd Koninkrijk), Rheinmetall AG (Duitsland), Leonardo SpA (Italië) en Safran Electronics & Defense (Frankrijk).

Bovendien wordt Ge in kleine hoeveelheden toegevoegd aan optische glasvezels, vooral voor hogesnelheidstelecommunicatie. De werking van optische vezels is gebaseerd op het verschil in brekingsindex tussen de kern van de vezel en de buitenmantel, de zogenaamde cladding. Ge (in de vorm van GeO_2) wordt gebruikt om de brekingsindex van de SiO_2 kern te verhogen.

In het rapport 'Raw materials for Emerging Technologies 2021' van Fraunhofer ³³ wordt gesteld dat de groei van de glasvezelmarkt lastig te voorspellen is en dat diverse marktrapporten geen eenduidig beeld geven. Het rapport verwacht echter een jaarlijks groeipercentage (gegeven door de Compound Annual Growth Ratio CAGR) voor glasvezelkabels van ongeveer 8% in de periode tussen 2025 en 2040.

Een beoordeling van de mondiale import- en exportgegevens van glasvezelkabels (vertegenwoordigd door HS-code 854470) geeft een overzicht van de netto-exporteurs van deze goederen. Dit is indicatief voor de distributie van de grote producenten van glasvezelkabels (zie Figuur 9).

³³Grondstoffen voor opkomende technologieën 2021: Marscheider-Weidemann, F. et al. (2021): Grondstoffen voor opkomende technologieën 2021. – DERA 5RKVWRI₂QIRUPDWLROHQ 50: 348 p., Berlijn



Figuur 9 Verdeling van netto-exporteurs van glasvezel

De mondiale productie (in termen van netto-export) wordt gedomineerd door China. Bedrijven die actief zijn in de productie van Ge-gedoteerde optische glasvezels zijn Corning (VS), Fujikura (Japan), Sumitomo Electric Industries (Japan), Prysmian Group (Italië, maar met een mondiale productiebasis, bijvoorbeeld Draka Prysmian in Nederland), Furukawa Electric (Japan), YOFC (Yangtze Optical Fiber and Cable Joint Stock Limited Company) (China) en Nufern (overgenomen door II-VI Incorporated) (VS).

Een voorbeeld van een Europees bedrijf dat lichtgewicht zonnepanelen produceert op basis van Ge (voor ruimtevaarttoepassingen) is Azur Space (Duitsland).

Gezien de chemische processen weergegeven in Figuur 5 heeft de EU vooral behoefte aan GeCl_4 (4N) voor optische vezels en aan zeer zuiver (5N-13N) polykristallijn Ge-metaal.

Een analyse van mondiale import- en exportgegevens (met behulp van de UN Comtrade-database) geeft inzicht in de knelpunten in toeleveringsketens. Deze methodiek is recent ontwikkeld en gerapporteerd door TNO ³⁴. Een uitgebreide toelichting en achtergrond van de methodiek vindt u in bijlage 3.

Voor de analyse van de knelpunten in de supply chain richten wij ons op de volgende materialen en producten:

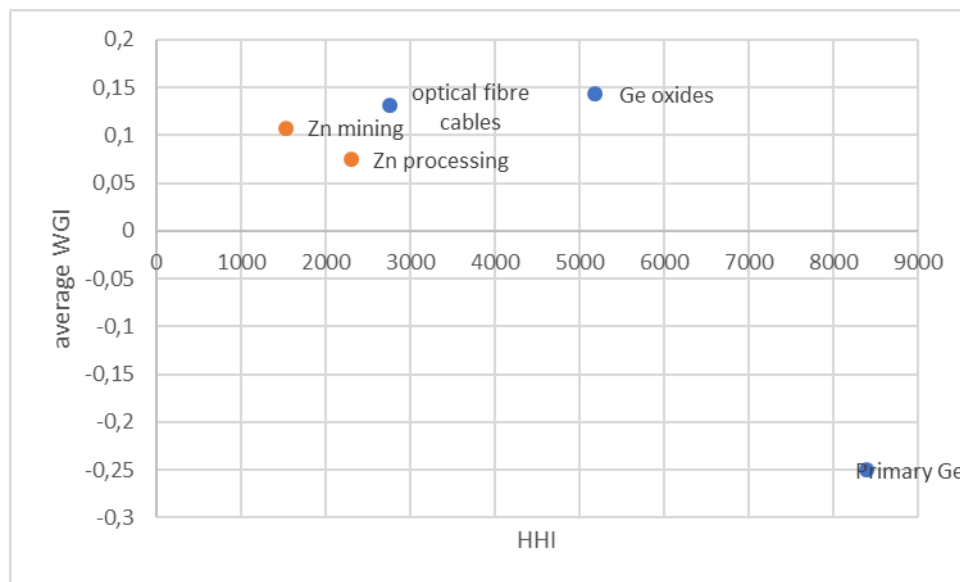
- Primaire productie van germanium (zie paragraaf 2.2)
- Zinkerts en primair, verwerkt zink (als alternatieve leveringsbronnen voor Ge) (zie paragrafen 2.3 en 2.3.1)
- Germaniumoxiden en zirkoniumdioxide (HS-code 28256000) (NB: voor germaniumoxide is geen aparte code beschikbaar)
- Optische vezelkabels bestaande uit individueel omhulde vezels, al dan niet voorzien van elektrische geleiders of voorzien van connectoren (de snelst groeiende toepassing van Ge) (HS-code 85447000)

Voor de beoordeling van knelpunten beoordelen we de concentratie van de producerende landen (weergegeven door de Herfindahl-Hirschmann Indicator HHI, een som van het

³⁴Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, 2023, in opdracht van het Ministerie van Buitenlandse Zaken

gekwadrateerde productieaandeel van het land) en de gemiddelde stabiliteit van de producerende landen (weergegeven door de gewogen WGI, de World Governance Index, zoals gepubliceerd door de Wereldbank).

De resultaten voor de toeleveringsketen met betrekking tot Ge- en glasvezelkabels zijn weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10 Knelpunten in de toeleveringsketen voor Ge (blauwe stippen) en Zn (oranje stippen)

Uit deze analyse blijkt dat de huidige productieconcentratie van germanium inderdaad het knelpunt is in het aanbod van Ge en dus ook voor toepassingen als glasvezel (met China veruit de belangrijkste producent). De productie van oxiden en van het eindproduct, glasvezelkabels, is veel minder geconcentreerd dan die van primair germanium. Maar met een drempelwaarde voor een HHI van 2.500 als teken van hoge concentratie, kunnen deze producten nog steeds als zeer geconcentreerd worden beschouwd, met in beide gevallen een dominante positie voor China.

Wanneer we de upstream toeleveringsketen voor glasvezel analyseren en de situatie voor kwarts en optische kabelconnectoren beoordelen, is de situatie onveranderd: beide producten die relevant zijn voor de toeleveringsketen van optische kabels hebben een lagere productieconcentratie (resp. 3913 en 4844) en gunstiger landenprofiel (resp. 0,5 en -0,21, waarbij dit laatste relatief laag is vanwege de grote rol voor Thailand en Vietnam). Daarom is de primaire Ge-voorziening het belangrijkste knelpunt – en dus het risico – voor de productie van glasvezelkabels.

Zoals besproken in paragrafen 2.3 en 2.3.1 zouden de knelpunten kunnen worden verlicht als meer landen die actief zijn in de zinkwinning en -verwerking zouden investeren in Ge-terugwinning uit zink. In die gevallen is de landenconcentratie veel lager, wat diversificatiestrategieën mogelijk maakt. De rol van landen als Peru, Australië, de VS en Mexico leidt ook tot een gunstiger gemiddelde WGI, dat wil zeggen een mogelijkheid voor meer 'friendshoring'.

2.5 Handel in EU en Nederland

Het grootste deel van de mondiale Ge-productie komt momenteel uit China. De USGS schat dat de Chinese productie (2021) ongeveer 95 ton bedraagt, en dat de export van Ge-poeders, onbewerkt Ge en Ge-afval en -schroot ongeveer 27,8 ton bedraagt. Aangenomen wordt dat deze export naar Duitsland, België, Japan en de VS ging. De OFREMI- en DERA-analyse vermelden eerdere schattingen van de Chinese export van ongeveer 44 ton per jaar (inclusief 13 ton per jaar naar Hong Kong).

De import van Ge (in de vorm van CN 81129295, ruw germanium; germaniumpoeders) in Nederland was met slechts 200 kg in 2022 zeer beperkt, en was gelijk aan de (weder)uitvoer naar Duitsland.

Daarom lijkt Nederland niet actief te zijn in de stroomafwaartse verwerking van Ge: er is geen sprake van netto-import van Ge. Het is daarom zeer onwaarschijnlijk dat de Chinese exportmaatregelen vanaf 2023 een directe negatieve impact zullen hebben op de Nederlandse economie of de samenleving als geheel. Dit heeft echter niet noodzakelijkerwijs betrekking op de belangrijkste toepassingen van Ge.

In dit verband is het relevant om de handelssituatie op het gebied van optische vezels en kabels te bespreken.

De belangrijkste en groeiende toepassing voor Ge zijn optische vezels en kabels.³⁵ De wereldwijde handel in optische vezels bedraagt 8,95 miljard dollar, vergeleken met een mondiaal handelsvolume van de germaniummarkt van ongeveer 292 miljoen dollar in 2022.³⁶ Uit BACI-gegevens blijkt dat de grootste netto-exporteurs van optische vezels China, Mexico en Japan zijn. Nederland is verantwoordelijk voor 3,12% van de mondiale import en voor 2,69% van de mondiale export, waardoor Nederland in de rol van relatief kleine netto-importeur komt te staan, maar wel een relatief grote handelsnatie is voor deze producten (NB: het aandeel van Nederland in het mondiale bbp bedraagt ongeveer 1%).

2.6 Prijsontwikkelingen van germanium en gevolgen voor eindproducten

Prijsontwikkelingen van grondstoffen vertalen zich niet noodzakelijkerwijs in vergelijkbare prijsontwikkelingen van eindproducten en hebben daarom geen vanzelfsprekende potentiële economische gevolgen. De invloed van de grondstofprijs op de prijsontwikkeling van eindproducten hangt af van het 'typische aandeel' van de grondstof in het eindproduct. In dit geval concentreren we ons op het gebruik van Ge in glasvezelkabels.

³⁵BACI-database ³⁵: 854470 Optische vezels en kabels

³⁶<https://www.zionmarketresearch.com/report/germanium-market>; bijgewerkt op 8 april 2024



Figuur 11 Prijsontwikkelingen Ge-ingots (bron: TradingEconomics)

De prijs van germanium ingots wordt weergegeven in Figuur 11³⁷ (1 CNY = 0,13 EUR): in april 2024 bedraagt de prijs van Ge-metaal ongeveer 1.228 EUR/ kg.

We maken de volgende veronderstellingen:

- 100 ppm Ge in glasvezelkabels³⁸
- het gemiddelde gewicht van een single mode glasvezelkabel van circa 7,5 tot 12 kilogram (gemiddeld 10 kg/km) per kilometer.
- een groothandelsprijs voor glasvezelkabels van ergens tussen \$ 0,3 en \$ 4 per meter³⁹

Op basis van deze veronderstellingen ligt het prijsaandeel van Ge in het eindproduct tussen de 0,034 en 0,45%.

Dit betekent dat een prijsstijging van ongeveer 2.000 CNY (d.w.z. 260 EUR/kg), zoals waargenomen tussen eind 2023 en eind 2024, slechts leidt tot een prijsstijging van 0,01 tot 0,1%.

Daarom heeft de prijsvolatiliteit van Ge geen belangrijke invloed op de uiteindelijke productprijs. De tijdige beschikbaarheid van het materiaal is veel belangrijker dan de prijsontwikkeling.

Bovendien lijken de prijsontwikkelingen zoals weergegeven in Figuur 11 niet te worden beïnvloed door de aankondiging van de Chinese exportmaatregelen die in augustus 2023 van kracht werden.

2.7 Slotopmerkingen: germanium en Nederland

Nederland is geen netto-importeur van Ge en produceert ook geen eindproducten waarvoor Ge nodig is. Een direct verband tussen de Chinese exportmaatregelen (en mogelijke gevolgen voor prijs of beschikbaarheid) en de gevolgen voor de Nederlandse economie kan daarom niet worden gelegd.

³⁷<https://tradingeconomics.com/commodity/germanium>

³⁸Zie: Marscheider-Weidemann, F. et al.: Grondstoffen voor opkomende technologieën 2021. – DERA 5RKVWRI₂QIRUPDWLRQHQ 50: 348 d., Berlijn

³⁹<https://www.thepricer.org/fiber-optic-cabling-cost/>

De misschien wel belangrijkste en zeker snelst groeiende toepassing voor Ge ligt echter in glasvezelkabels. De betekenis van glasvezels voor een snelle internetinfrastructuur kan niet worden onderschat. Hoewel er geen tekenen van knelpunten in de productie van optische vezels worden waargenomen, lijkt het de moeite waard om de situatie met betrekking tot de voorzieningszekerheid en de diversificatie van het aanbod van optische vezels in de gaten te houden.

De beschikbaarheid van Ge is afhankelijk van de beschikbaarheid van zinkertsen en/of de capaciteit om zink te verwerken. Deze relevantie van een zogenaamd gastmateriaal als bron voor companion-metalen wordt in de huidige CRMA, en daarmee mogelijk in de Nederlandse Grondstoffenstrategie, onderschat. Deze zogenaamde companionality van germanium (wat betekent: al het germanium is een bijproduct van een andere grondstof, in dit geval zink en steenkool) pleit voor een bredere definitie van de term 'kritikaliteit': in het geval dat diversificatie een beleidsrichting is voor kritieke materialen is het essentieel om rekening te houden met de situatie met betrekking tot de zogenaamde 'gastmaterialen' (in dit geval zink). Het Nederlandse standpunt in de CRMA-discussies op EU-niveau zou dit inzicht in de relatie tussen companion en host kunnen weerspiegelen.

Hoewel Nederland Ge niet importeert en verwerkt, kan het Nederlandse bedrijf Nyrstar een rol spelen bij het leveren van germaniumgrondstoffen en dus bij het ondersteunen van een diversificatiebeleid voor Ge. De huidige geplande investeringen van Nyrstar in de VS zullen leiden tot een nieuwe bron van Ge (en andere kleine metalen in zinkerts, zoals Ga-gallium) en bijgevolg tot diversificatie van de hulpbronnen. Soortgelijke investeringen in zinkverwerkingsfaciliteiten in de EU zouden leiden tot een minder gespannen leveringssituatie voor de levering van Ge. De doorlooptijd voor een dergelijk initiatief kan nu niet worden ingeschat, maar zal aanzienlijk korter zijn dan de doorlooptijd voor een volledige exploitatie van een mijnbouwactiviteit.

3 Ketenganalyse van (Ferro)vanadium

3.1 Waarom (ferro)vanadium?

Voor de Nederlandse economie en industrie, met name de staal- en equipment-industrie zijn verschillende legeringen, met name ferrolegeringen die worden ingezet bij de staalproductie, belangrijk. BACI-analyses (zie bijlage 2) suggereren dat Nederland een belangrijke importpositie heeft in ferrolegeringen zoals ferroniobium, ferrosilicaat, ferronikkel en ferrovanadium. Dit zou kunnen wijzen op een aanzienlijk binnenlands verbruik van deze ferrolegeringen. In dit hoofdstuk kiezen we ervoor om dieper in te gaan op de supply chain-analyse van de grondstof vanadium (V) en de daarvan afgeleide legering ferrovanadium (FeV). Omdat FeV de meest dominante vorm is waarin vanadium wordt verhandeld, richt de rest van dit hoofdstuk zich vooral op ferrovanadium in plaats van op vanadium.

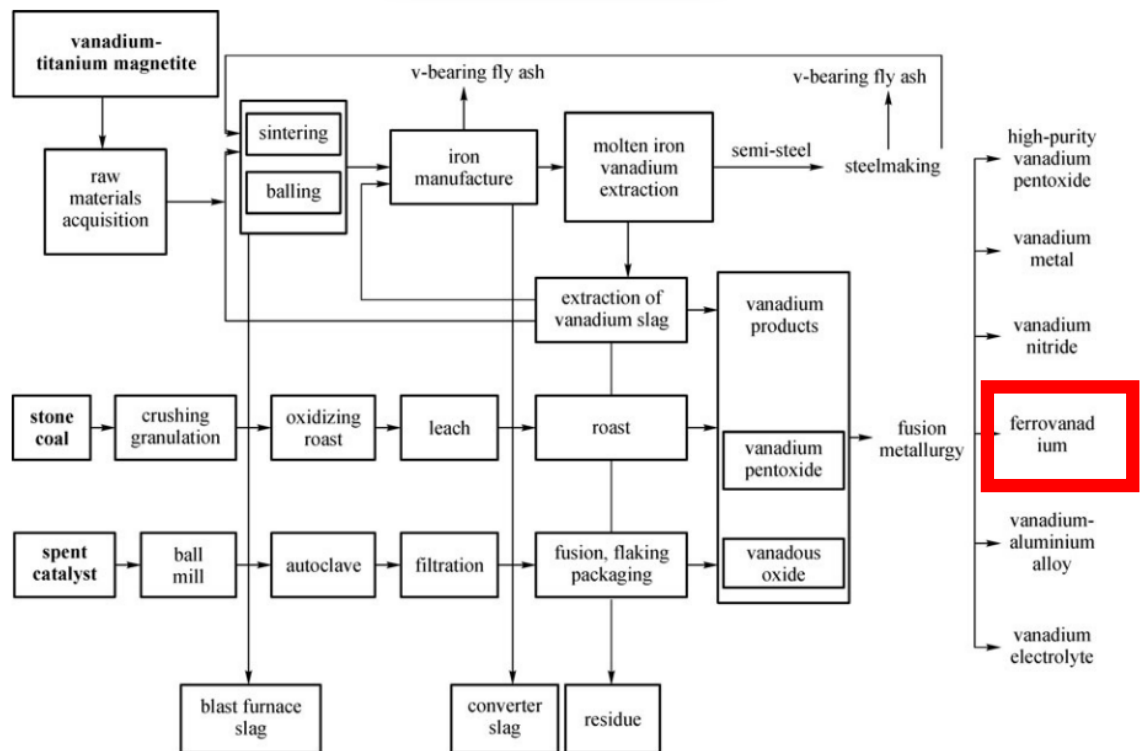
3.2 Productie en productieconcentratie van vanadium en ferrovanadium

Omdat we ferrovanadium (hierna: FeV) als eerste stap in de vanadium-keten kunnen beschouwen, is het zinvol om naast de productiesituatie van de grondstof, vanadium, ook die van FeV te bespreken.

Meer dan 60% van de primaire productie van vanadium vindt plaats in de vorm van een bijproduct ('companion'; zie voor toelichting paragraaf 2.2) bij de winning en verwerking van ijzererts. Vrijwel al het vanadium is afkomstig van mineraalconcentraten (doorgaans vanadiumrijk en titaniumrijk magnetiet) die worden gescheiden van de 'host' ijzererts. Deze vanadiumhoudende ertsen ondergaan vervolgens verrijgingsprocessen om het vanadiumgehalte te concentreren voordat ze verder worden verwerkt. Vanadiumpentoxide (V_2O_5) dient als uitgangspunt voor de meeste downstream-toepassingen, zoals de productie van vanadiumchemicaliën, legeringen en metalen.

Alternatieve bronnen van vanadium zijn vanadiumbevattende staalslakken (als restproduct van hoogovens) en steenkool. Deze bronnen bevatten niet alleen vanadiumpentoxide, maar ook andere oxiden, hydroxiden en vanadiumzouten.

De reductie van vanadiumpentoxide via verschillende methoden, zoals aluminothermische reductie of elektrolyse, levert vanadiummetaal in zijn zuivere vorm op.

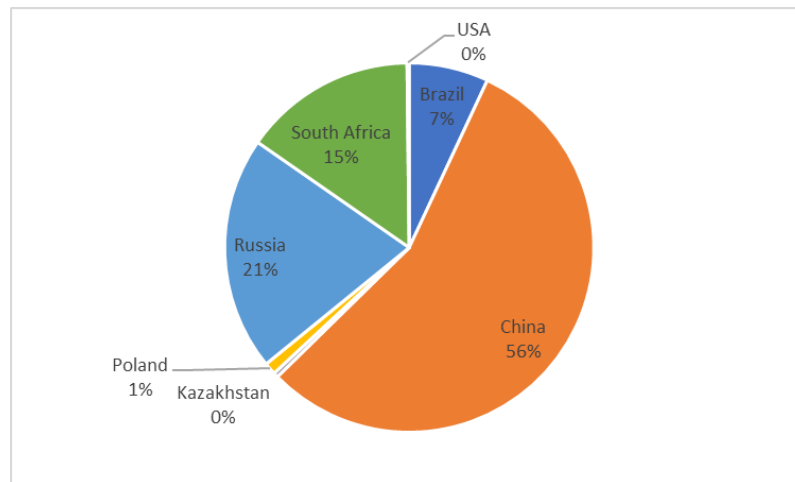


Figuur 12: Analyse van de materiaalstroom van vanadium, waarin het eerste deel van de mondiale toeleveringsketens wordt beschreven (bron: Zhang et al.).

De meest voorkomende FeV-legering is FeV80, maar FeV40, FeV50 en FeV60 worden ook verkocht. Het numerieke deel van het symbool verwijst naar het gehalte vanadium. FeV80 bevat bijvoorbeeld ongeveer 80% vanadium ⁴⁰.

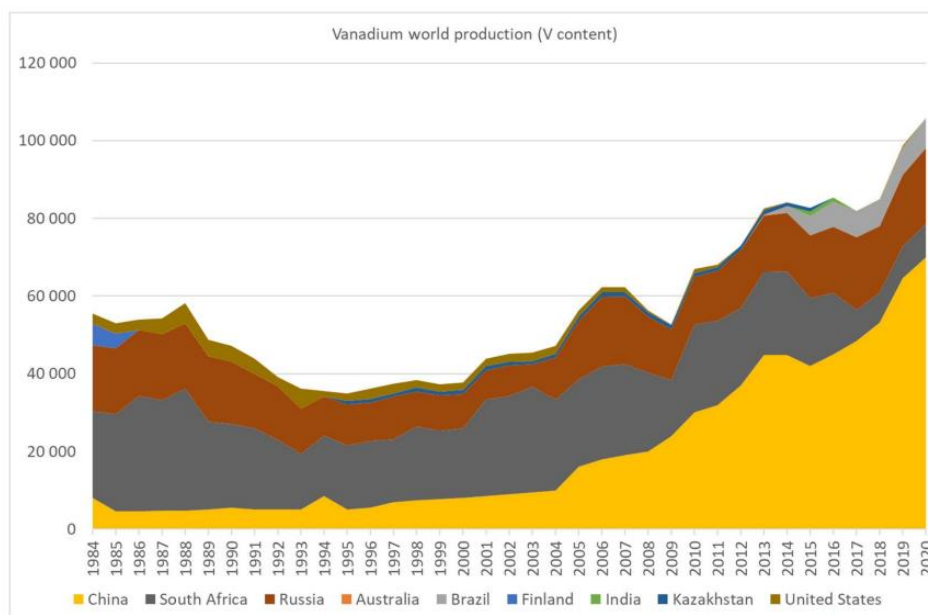
De mondiale productie van verwerkt vanadiumerts bedraagt ongeveer 90 kt, met China als dominante producent (56%). De overige bronlanden zijn weergegeven in Figuur 13. Deze productieverdeling leidt tot een HHI van 3.804 en een WGI van -0,27 (WGI varieert tussen -2,5 en + 2,5; -2,5 vertegenwoordigt de slechtste score). De combinatie van HHI en WGI in combinatie met het ontbreken van recycling leidt tot een kwalificatie van V als CRM.

⁴⁰<https://www.ga.gov.au/scientific-topics/minerals/mineral-resources-and-advice/australian-resource-reviews/vanadium#:~:text=Vanadium%20is%20not%20found%20in,well%20als%20bauxiet%20en%20fosforieten>



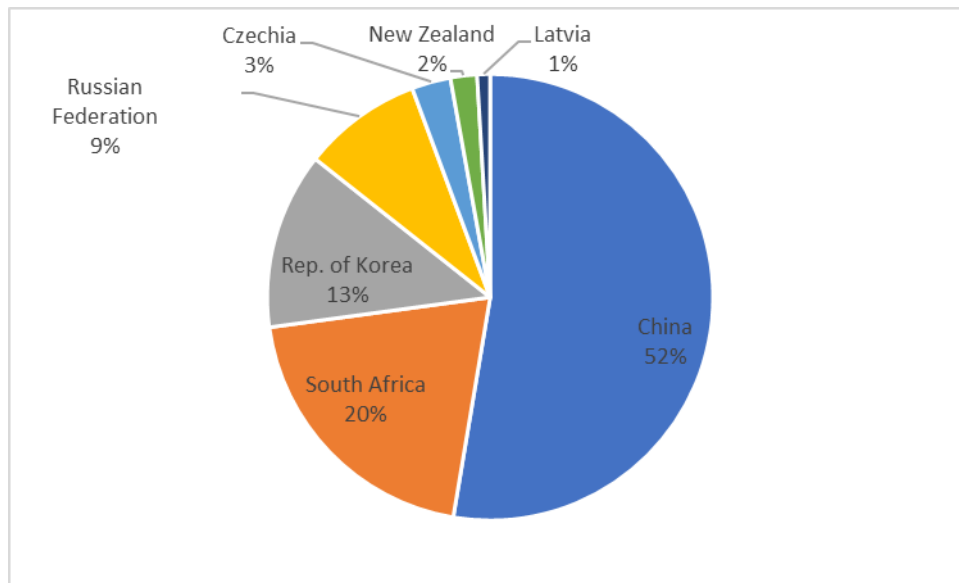
Figuur 13 Vanadiumbronlanden (bron: BGS; 2020)

De dominante positie van China is de afgelopen twintig jaar sterk toegenomen: van minder dan 25% rond 2000 naar het huidige niveau van minimaal 56% (Figuur 14).



Figuur 14 Ontwikkeling van de mondiale V-productie (bron: SCREEN)

Als we naar de exporterende landen kijken, lijkt de productieverdeling van FeV (op basis van de exportcijfers) niet meer gediversifieerd te zijn dan die van vanadiumhoudende ertsen. De landenverdeling is echter anders, waardoor het aanbodrisico voor ferrovanadium iets gunstiger uitvalt vergeleken met de situatie met primair vanadium.



Figuur 15 Distributie van FeV-productie (op basis van netto exportpositie)

De belangrijke zakelijke spelers in de productie van FeV-legeringen zijn bedrijven als Bushveld Minerals, Tremond Metals Corp., Core Metals Group, Gulf Chemical and Metallurgical Corporation, Bear Metallurgical Company, Atlantic Limited., Shenszhen Chinary Co.Ltd. en Hickman, Williams and Company.

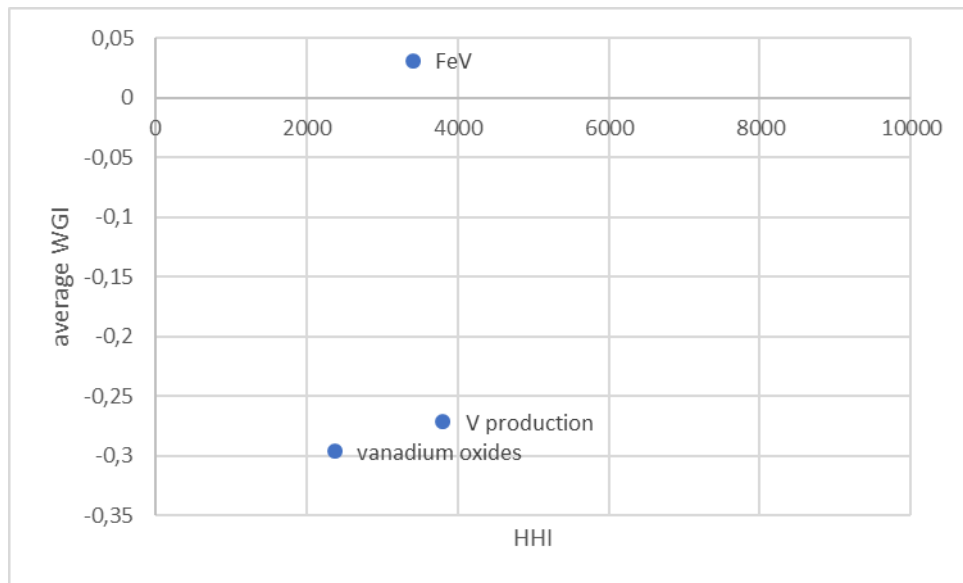
Een analyse van mondiale import- en exportgegevens (met behulp van de UN Comtrade-database) geeft inzicht in de knelpunten in toeleveringsketens. Deze methodiek is recent ontwikkeld en gerapporteerd door TNO ⁴⁷. Een uitgebreide toelichting en achtergrond van de methodiek vindt u in bijlage 3.

Voor de analyse van de knelpunten in de supply chain voor V richten we ons op de materialen en producten waarvoor handelsgegevens beschikbaar zijn in de UN Comtrade database (op 6-cijferig niveau):

- Primaire productie van vanadium (zie deze paragraaf)
- Ferrovanadium (HS-code 720292)
- Vanadiumoxiden en -hydroxiden (HS-code 282530)

Voor de beoordeling van knelpunten beoordelen we de concentratie van de producerende landen en de gemiddelde stabiliteit van de producerende landen. Hogere risico's op verstoring van het aanbod worden gekenmerkt door een hoge HHI (doorgaans wordt een HHI hoger dan 2.500 als zeer geconcentreerd beschouwd) en door een lage (d.w.z. niet gunstige) WGI. Een WGI-waarde lager dan 0,13 (dat wil zeggen onder het laagst scorende EU-land) kan als ongunstig worden beschouwd. De resultaten worden getoond in Figuur 16.

⁴⁷Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, 2023, in opdracht van het Ministerie van Buitenlandse Zaken

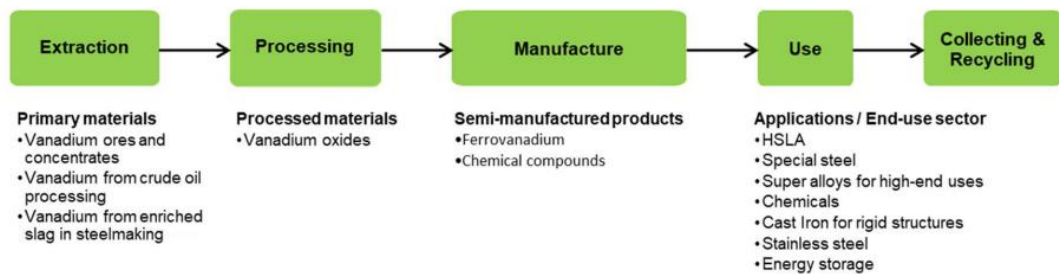


Figuur 16 Knelpunten in de toeleveringsketen voor vanadium en ferrovanadium

De primaire vanadiumproductie is bijna net zo geconcentreerd als de (schijnbare) productie van ferrovanadium. De rol van Korea en Zuid-Afrika in de FeV-productie leidt echter tot een gunstiger landenverdeling.

Vanadiumoxiden zijn iets minder geconcentreerd, maar de dominante rol van Rusland, Kazachstan en Brazilië leidt tot een tamelijk ongunstige WGI-score.

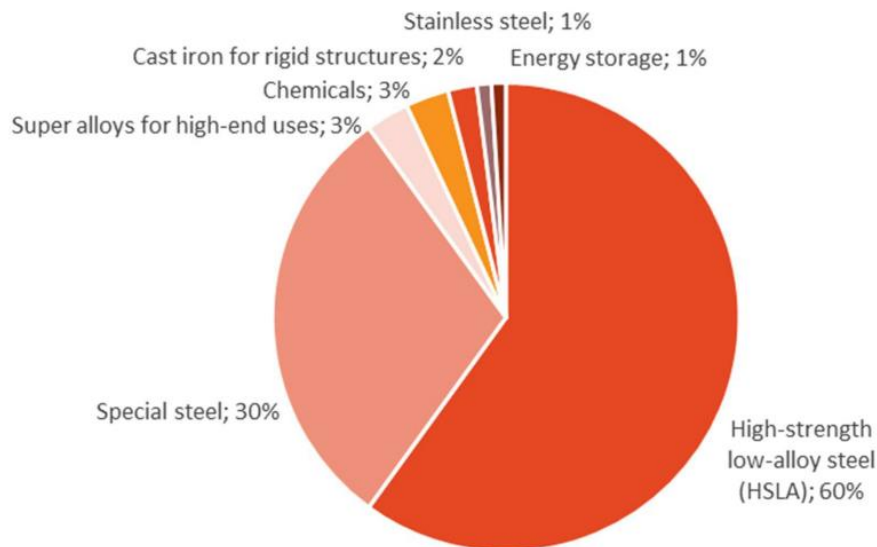
3.3 Toepassingen van (ferro)vanadium



Figuur 17 Toeleveringsketen voor vanadium (bron: SCREEN)

Ferrovanadium is de belangrijkste vorm waarin vanadium wordt gebruikt in de wereldeconomie. Ferrovanadium wordt toegevoegd tijdens de staalproductie en zorgt voor sterkte, hardheid en hittebestendigheid in het eindproduct. De toevoeging van ferrovanadium verbetert de mechanische eigenschappen van staal, waardoor de constructie van duurzame infrastructuur, auto-onderdelen en industriële machines mogelijk wordt. Ongeveer zestig procent van het vanadium wordt gebruikt in HSLA-staal (High Strength Low Alloy) en dertig procent wordt gebruikt in speciale staalsoorten, die worden gebruikt in gereedschappen en machines.

Andere toepassingen van vanadium hebben betrekking op chemicaliën en energieopslag (met name de vanadium-redoxbatterij voor grootschalige elektriciteitsopslag; hierover later meer).



Figuur 18 Toepassingen van vanadium (bron: SCREEN)

HSLA-staal vormt een belangrijke categorie staal die naar schatting ongeveer 12% van de totale mondiale staalproductie vertegenwoordigt. Er is een grote verscheidenheid aan soorten en samenstellingen, elk afgestemd op specifieke gebruikersbehoeften. HSLA-staal bevat doorgaans 0,06 tot 0,12% koolstof, tot 2% mangaan en kleine toevoegingen van niobium (0,02-0,05%), vanadium (tot 0,06%) en molybdeen (0,2-0,35%) in verschillende combinaties.⁴² HSLA-legeringen zijn te vinden in een verscheidenheid aan toepassingen, zoals bruggen, bouwconstructies, voertuigen, zwaar materieel, rails en offshore-platforms.

De overvloed aan toepassingen van HSLA-staal betekent dat verdere supply chain-analyse (voor toepassingen van HSLA) te complex wordt en geen bruikbare resultaten zal opleveren.

Gereedschapsstaal is een specifieke vorm van gelegeerd staal dat bijzonder geschikt is om te worden verwerkt tot gereedschappen en gereedschappen, waaronder snijgereedschappen, matrijzen, handgereedschap en messen. Gereedschapsstaal wordt gebruikt voor het snijden, persen, extruderen en spuitgieten van metalen en andere materialen.

Gereedschapsstaal heeft een gemiddeld koolstofgehalte van 1% en lage gehalten aan wolfram, chroom, vanadium en molybdeen. Het gehalte V is afhankelijk van de specifieke toepassing en varieert tussen 0,1 en 1,5%.⁴³

Specifieke toepassingen van vanadiumhoudende staalsoorten en -legeringen hebben betrekking hebben op lucht- en ruimtevaart, nucleaire technologie en medische toepassingen. Voor de lucht- en ruimtevaart zijn de goede sterkte-gewichtsverhouding en hoge temperatuurbestendigheid van vanadiumlegeringen essentieel. In straalmotoren worden legeringen op basis van vanadium gebruikt in turbinebladen en andere kritieke componenten waar extreme temperaturen en mechanische spanningen voorkomen. Deze legeringen bieden de vereiste mechanische eigenschappen, waaronder hoge treksterkte, weerstand tegen vermoeiing en kruipweerstand, die het vereiste niveau van mechanische betrouwbaarheid opleveren. Frames in supersonische vliegtuigen en krachtige racewagens

⁴² [Toepassing van microgelegeerd HSLA-staal: Deel één:: Total Materia-artikel](#)

⁴³ https://en.m.wikipedia.org/wiki/Tool_steel

gebruiken deze legeringen ook. Naast de genoemde technische eigenschappen bieden vanadiumlegeringen een uitstekende corrosieweerstand.

Op vanadium gebaseerde legeringen worden in de nucleaire technologie gebruikt als onderdeel van sommige reactorvatconstructies en neutronenmoderatiematerialen. Componenten kunnen bijvoorbeeld het reactordrukvat (RPV) en de interne onderdelen van de reactor zijn. Vanadium bezit gunstige neutronenabsorptie- en verstrooiingseigenschappen, waardoor het geschikt is voor neutronenmoderatiematerialen. Neutronenmoderators vertragen snelle neutronen die worden uitgestoten tijdens kernsplijting, waardoor aanhoudende kettingreacties worden vergemakkelijkt die nodig zijn voor energieopwekking. Op vanadium gebaseerde materialen dienen als effectieve neutronenmoderators vanwege hun vermogen om neutronensnelheden efficiënt te modereren en tegelijkertijd de invang van neutronen te minimaliseren.

Sommige vanadiumverbindingen vertonen kanker bestrijdende eigenschappen, remmen de tumorgroei en induceren apoptose in kankercellen (Ścibior et al. 2020). Als zodanig wordt vanadium gebruikt bij bepaalde soorten chemotherapie. Bovendien zijn de antioxiderende eigenschappen van vanadium veelbelovend gebleken bij de bescherming tegen oxidatieve stress-gerelateerde ziekten zoals cardiovasculaire aandoeningen en neurodegeneratieve aandoeningen zoals de ziekte van Alzheimer.

Een groeiende toepassing is het gebruik van vanadium in Vanadium Redox Flow-batterijen (VRB's) die een veelbelovende oplossing voor energieopslag vertegenwoordigen. VRB's staan bekend om hun lange levensduur, hoge efficiëntie en schaalbaarheid. In tegenstelling tot conventionele batterijen gebruiken VRB's vanadiumionen in verschillende oxidatietoestanden (meestal V²⁺ en V³⁺ of V⁴⁺) opgelost in een elektrolytoplossing om elektrische energie op te slaan en vrij te geven. Een van de onderscheidende kenmerken van VRB's is hun vermogen om de energieopslagcapaciteit te ontkoppelen van de stroomproductie, waardoor ze bijzonder geschikt zijn voor grootschalige energieopslagtoepassingen, zoals energieopslag op netniveau en de integratie van hernieuwbare energie. VRB's zijn in staat grote hoeveelheden energie gedurende langere perioden op te slaan.

Een analyse door DERA en Fraunhofer ⁴⁴ over de toekomst van deze batterijen schat het vanadiumgehalte van Vanadium redoxflow-batterijen op ongeveer 1,62 g V₂O₅/kWh, of 10% van het gewicht van deze batterijen. Hoewel de VR-batterijen goed ontwikkeld zijn en klaar zijn voor de markt, is de introductie ervan nogal speculatief.

Volgens het rapport van DERA (en daarin geciteerde bronnen) bedraagt de verwachte vraag naar vanadium voor VRB in 2040 ongeveer 60 kt, wat een aanzienlijke toename van de vraag zou betekenen vergeleken met de huidige productie van ongeveer 90 kt. Ook Ciotola et al (2021) geven aan dat de opkomst van VRB toekomstige leveringsrisico's met zich mee kan brengen. Het SCRREEN-project verwacht een opwaartse prijsontwikkeling als gevolg van de VRB-ontwikkelingen. Naast gevolgen voor de prijs kan een dergelijke ontwikkeling ook de voorzieningszekerheid voor staaltoepassingen verminderen, uiteraard afhankelijk van de relatieve marges die verschillende toepassingen zich kunnen veroorloven.

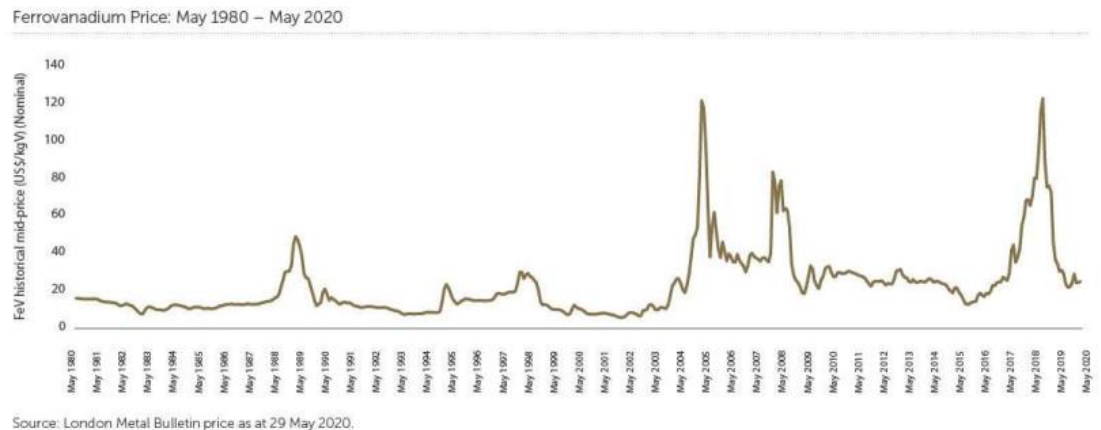
Op dit moment worden VRB's gebouwd en/of de grondstoffen daarvoor gewonnen onder andere bij US Vanadium ⁴⁴, in China bij Dalian (Rongke Power) ⁴⁵, VanadiumCorp in Canada ⁴⁶.

⁴⁴ <https://usvanadium.com/u-s-vanadium-launches-north-americas-largest-production-facility-for-made-in-usa-ultra-high-purity-electrolyte-for-vanadium-redox-flow-batteries/>

⁴⁵ <https://spectrum.ieee.org/its-big-and-longlived-and-it-wont-catch-fire-the-vanadium-redoxflow-battery>

⁴⁶ <https://www.vanadiumcorp.com/releases/vanadiumcorps-first-electrolyte-production-plant-is-fully-assembled/>

3.4 Prijsontwikkelingen en gevolgen voor downstream-toepassingen



Figuur 19 FeV-prijsontwikkeling (in \$/kg V) (bron: SCREEN)

De prijs van vanadium voor FeV-legeringen schommelde tussen minder dan 20 USD en meer dan 100 USD per kg. De HSLA-prijs voor plaatstaal bedraagt gemiddeld ongeveer 550 \$/ton⁴². Op een V-niveau van ongeveer 0,1% (vooral voor HSLA) varieert het aandeel van de vanadiumprijs in HSLA-staal tussen 20 en 100 dollar voor vanadium per ton staal, d.w.z. tussen 4 en 20% van de staalprijs. Voor hogere gehalten aan vanadium (bijvoorbeeld in sommige gereedschapsstaalsoorten) is dit aandeel uiteraard hoger. De aanzienlijke volatiliteit van de vanadiumprijs kan gevolgen hebben voor producenten en downstreamgebruikers van HSLA.

3.5 Slotopmerkingen: (ferro)vanadium en Nederland

In tegenstelling tot de situatie voor germanium -besproken in het vorige hoofdstuk- zijn er momenteel geen exportmaatregelen bekend voor vanadium of het belangrijkste 'eerste tussenproduct' ferrovandium (FeV).

De BACI-data geven een aanzienlijke rol aan voor Nederland in de mondiale import en export voor ferrovandium- en vanadiumoxiden en -hydroxiden.

De Nederlandse import van FeV bedroeg volgens de BACI-gegevens in 2022 naar schatting 6,6% van de wereldhandel, terwijl de Nederlandse export dat jaar op ruim 16% van het totale mondiale gewonnen volume van vanadium werd geschat.

Voor vanadiumoxiden is de situatie vergelijkbaar: volgens de BACI-database is Nederland verantwoordelijk voor 12% van de mondiale export en 17% van de mondiale import.

Tata Steel gebruikt vanadium in kleine hoeveelheden in het staalproductieproces; deze toepassing kan dit grote aandeel van Nederland in de wereldhandel niet verklaren. De wederuitvoer van deze producten naar Duitsland kan verantwoordelijk zijn voor de aanzienlijke impact op de wereldhandel.

Nederland is een grote speler op het gebied van handel en opslag, zoals blijkt uit de aanwezigheid van Access World (met ferrolegering-opslag in Vlissingen) en Steinweg.

Steinweg is een grote zakelijke speler in Nederland ⁴⁷: dit is een logistiek en warehousingbedrijf in de Rotterdamse haven (en op talloze locaties over de hele wereld). Zoals op hun website staat: “*In 1998, we set up dedicated terminals in Rotterdam for handling, crushing, screening and packing of ferro-alloys in bulk*”; op de website wordt verder gespecificeerd dat deze legeringen Ferro-chroom, Ferro-silicium, Silicium-metaal, Ferro-mangaan, Ferro-molybdeen, Ferro-titanium, Ferro-wolfrum en Ferro-vanadium omvatten (NB: ferrotungsten en ferroniobium behoren ook tot de groep van de meest door Nederland geëxporteerde producten).

Het belang van specifieke gereedschapsstaalsoorten voor de Nederlandse apparatenbouwindustrie kan niet worden onderschat. Een goed functionerende industrie voor de productie van apparatuur moet een veilige aanvoer van verschillende staalsoorten hebben. Uit onderzoek uit 2012 ⁴⁸ bleek dat bij 4 van de 30 geïnterviewde partijen de aanvoer van diverse staalsoorten verstoord was. Hoewel nu geen leveringsproblemen voor ferrolegeringen bekend zijn, en het gebruik van V (of andere legeringscomponenten) tot op zekere hoogte kan worden vervangen door (soms bijna even kritieke elementen zoals) elementen als mangaan, molybdeen, niobium, titanium en wolfrum, verdient een betrouwbare aanvoer van ferrolegeringen aandacht.

De ontwikkeling van de vanadium-redoxflow-batterij (VRB) moet nauwlettend worden gevolgd: als de installatie van deze batterijen zich ontwikkelt zoals voorspeld door DERA en Fraunhofer, zal de behoefte aan vanadium sterk groeien. Opwaartse prijsontwikkelingen kunnen gevolgen hebben voor Nederlandse downstreamgebruikers van vanadiumhoudende legeringen.

Een manier om het aanbod te diversifiëren en de toenemende behoefte aan vanadium te ondersteunen, is door vanadium terug te winnen uit verschillende reststromen. Zo wordt vanadium teruggewonnen uit vanadium-houdende katalysatoren (door het Oostenrijkse Treibacher⁴⁹), of uit hoogovenslak (zoals in een pilot in Zweden door CriticalMetals en Neometals op basis van staalslakken van staalproducent SSAB)⁵⁰.

Dergelijke initiatieven vinden ook in Nederland plaats. Zo werkt het Nederlandse project SPARK aan het terugwinnen van vanadium uit maritiem scrubber-slib en roetas-afvalstromen ('soot ash') van raffinaderijen. Het project heeft geld ontvangen van RVO en de Provincie Zuid-Holland om een R&D-programma af te ronden om vanadium te recupereren uit deze afvalstroom en verdere schaalvergroting van de technologie in de Rotterdamse haven te ontwikkelen.

Ook naar terugwinnen van vanadium uit staalslakken is in Nederland gekeken. De voorlopige conclusie is dat deze terugwinning een onrendabele top heeft en onder de huidige omstandigheden niet zal plaatsvinden. Wel participeert Tata Steel in het HorizonEurope-project HELIOS waar op waterstof op waterstof-plasma gebaseerde technologie wordt bestudeerd om metallische reststromen te recupereren. Het gaat in dit geval vooral om zink, nikkel, chroom, koper en kobalt.⁵¹

⁴⁷ <https://www.steinweg.com/commodities/ferro-legeringen/>

⁴⁸ Derk Bol en Ton Bastain, Kritieke materialen en de Nederlandse technologische industrie, ondersteund door FME

⁴⁹ <https://treibacher.com/portfolio/recycling/?product-cat=310>

⁵⁰ <https://www.criticalmetals.eu/vanadium-recovery.php>

⁵¹ <https://helios-dn.eu/project/>

4 Ketenganalyse van nikkelverbindingen – introductie van de inzet van niet-publieke supply-chain-databases

4.1 Waarom nikkel?

Er zijn verschillende redenen waarom nikkel (Ni) als derde case in dit onderzoek is gekozen: de verwachte toekomstige groei van de vraag, de schijnbare Nederlandse positie in de wereldhandel van Ni en de geopolitieke gebeurtenissen die plaatsvonden op de Ni-markt.

Terwijl Ni vooral in verschillende vormen van roestvrij staal werd en nog steeds wordt gebruikt, wordt verwacht dat het gebruik aanzienlijk zal stijgen als gevolg van de opkomst van EV-batterijen (van het NMC- Nikkel-Mangaan-Kobalt-type). De beleidsrelevantie ervan is daarmee sterk toegenomen. De beschikbaarheid van Ni zal daarom de komende jaren belangrijk zijn om te monitoren. Het is mede daarom dat de EU nikkel niet als zodanig als CRM en SRM heeft benoemd, maar alleen 'battery grade' nikkel.

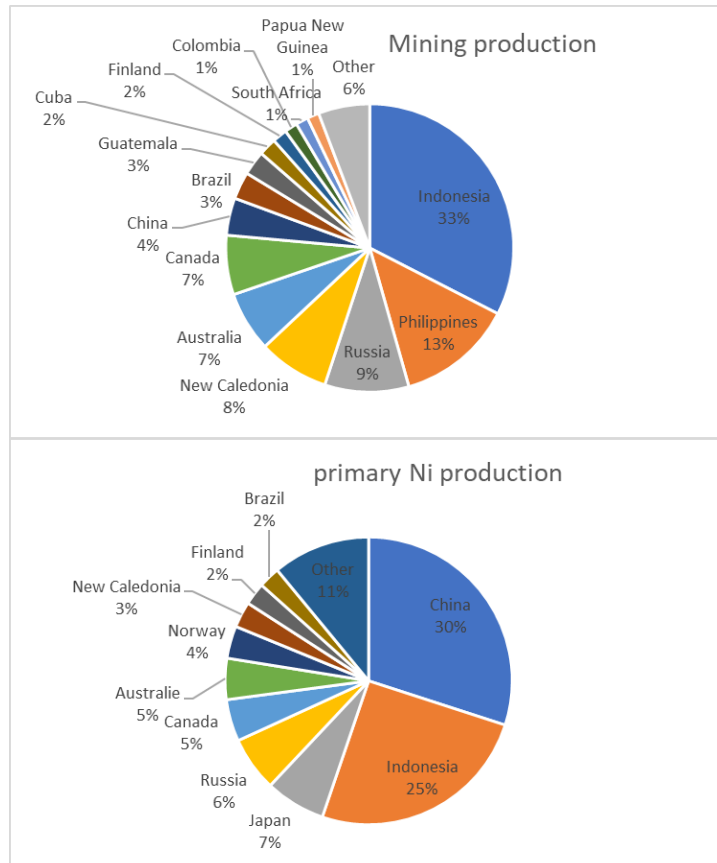
Bovendien lijkt de Nederlandse positie in de Ni-wereldhandel aanzienlijk (zij het vanwege de rol van Nederland in de handel in plaats van vanwege de productie), zoals blijkt uit de import- en exportgegevens van BACI (zie bijlage 2 en paragraaf 1.4.2). Vooral voor ruw nikkel (HS750200), ruw niet-gelegeerd nikkel (HS750210), nikkelchloride (allemaal belangrijke importposities) en nikkeloxiden en -hydroxiden (belangrijke exportpositie) lijkt Nederland een belangrijke mondiale handelspartner.

Een derde aspect dat de aandacht verdient was het Indonesische besluit om de export van nikkelerts te beperken om de binnenlandse 'downstream' verwerkende industrie te stimuleren. Dergelijke bewegingen (inclusief de Chinese betrokkenheid bij die downstream-industrie) zijn relevant bij het analyseren van de barrières op weg naar het streven naar meer gediversifieerde toeleverketens.

4.2 Productie en productieconcentratie van nikkel

De mondiale primaire nikkelwinning bedraagt ongeveer 2,3 miljoen ton (World Mining Data 2024). Naast de klassieke dominante mijnbouwproducenten Rusland en Canada zijn vooral de Filipijnen en Indonesië momenteel grote leveranciers van erts, met respectievelijk ruim

320 kt en ruim 600 kt. China is een dominante locatie voor de raffinage van nikkelerts (ongeveer 1/3 van het mondiale aanbod); van andere mijnbouwlanden heeft alleen Indonesië ook een groot aandeel in de raffinage, met ongeveer 25%.



Figuur 20 Landenverdeling van Ni-mijnbouw en Ni-primaire verwerking (bron: BGS; INSG)

Nikkel is voornamelijk afkomstig van twee hoofdtypen ertsafzettingen: laterieten en sulfiden. Laterietafzettingen worden doorgaans dicht bij het oppervlak aangetroffen en worden voornamelijk gewonnen in Indonesië en de Filippijnen. Sulfideafzettingen bevinden zich dieper onder de grond en worden gewonnen in landen als Canada, Nieuw-Caledonië, Rusland en Australië.

Dit onderscheid is van belang omdat het zogenaamde class-1 Nikkel (met een zuiverheid groter dan 99,8% en dat de belangrijke grondstof vormt voor o.a. batterijtoepassingen) voornamelijk uit sulfide-afzettingen kan worden gewonnen. Class-2 Nikkel wordt gewonnen uit laterietafzettingen. Dit nikkel kan slechts na verdere zuivering als batterijgrondstof dienen.

De situatie in Indonesië verdient bijzondere aandacht: de productie van primair nikkel is in de periode 2016-2020 bijna vervijfvoudigd, als gevolg van het Indonesische beleid van investeringen in de verwerkende sector en het beperken van de export van Ni-erts. De verwerkingscapaciteit ligt nu bijna op het niveau van China.

Tussen de eeuwwisseling en 2015 is de mondiale nikkelwinning relatief sterk toegenomen (ruim 5% per jaar), maar sindsdien is de groei licht gedaald (tot circa 4% per jaar). Dit illustreert dat, hoewel batterijen een belangrijke motor zijn, de bloei van de bouwactiviteiten

aan het begin van deze eeuw (met de vraag naar staal in China) qua volume een nog sterkere motor was.

4.2.1 Verwerking van nikkel

Een schematisch beeld van de eerste stappen van nikkelverwerking (en de markttoepassingen) wordt onder andere gegeven door Cormery et al.⁵²(Figuur 21).

Ertsverrijking

Nikkelerts ondergaat verrijkingsprocessen om het nikkelgehalte te verhogen en onzuiverheden te verwijderen. Het gewonnen erts wordt gecrusht en gemalen om de nikkelhoudende mineralen vrij te maken. Verschillende technieken zoals flotatie, scheiding door zwaartekracht en magnetische scheiding worden gebruikt om de nikkelhoudende mineralen te concentreren. Het resulterende concentraat bevat nikkel, samen met andere elementen zoals koper, kobalt en ijzer.

Smelten en raffineren

Nikkelconcentraten worden onderworpen aan smelt- en raffinageprocessen om nikkelmetaal of nikkeltussenproducten te produceren (weergegeven door de lichtblauwe vakken 6,7 en 8). Een veelgebruikte methode is de productie van ferronikkel, waarbij het concentraat met ijzer en andere additieven in een oven wordt gesmolten. Ferronikkel dient als voorloper voor de productie van roestvrij staal. Als alternatief ondergaan sommige nikkelconcentraten hydrometallurgische processen zoals zuuruitloging onder hoge druk (HPAL) om nikkel en kobalt te extraheren terwijl sulfide neerslaat. HPAL-technologie is bijzonder geschikt om Class-2-nikkel uit laterietertsen te zuiveren tot class-1-nikkel. Bij dit proces wordt het erts onder hoge druk en temperaturomstandigheden uitgelooft met zwavelzuur om nikkel en kobalt op te lossen. De resulterende oplossing ondergaat zuiverings- en precipitatiestappen om nikkel en kobalt terug te winnen als sulfideprecipitaten, die verder kunnen worden verwerkt tot nikkeltussenproducten. In veel publicaties wordt de voldoende beschikbaarheid van class-1 nikkel als beperkend gezien voor de groei van EV-batterijen. Werd enkele jaren geleden nog aangegeven dat de zuivering van Class-2 naar Class-1 nikkel via het HPAL proces economisch onrendabel zou zijn⁵³, in de tussentijd zijn in Indonesië drie processing-faciliteiten in gebruik genomen die via de HPAL-route class-2 nikkel uit laterietertsen omzetten in class-1 nikkel t.b.v. de batterijproductie. Overigens zijn alle drie de faciliteiten in(meerderheid in) Chinese handen⁵⁴

Nikkelgietijzer (NPI) is een ander tussenproduct in de nikkeltoeleveringsketen, vooral in de roestvrijstalen industrie. NPI is een laagwaardig ferronikkel dat wordt gemaakt door nikkelerts te smelten in hoogovens of elektrische ovens. De productie van NPI omvat het smelten van nikkelerts samen met ijzererts en andere additieven in een oven. De samenstelling van NPI bevat doorgaans een hoog ijzergehalte en een relatief laag nikkelgehalte, gewoonlijk variërend van 5% tot 30% nikkelgehalte.

⁵² Marceau Cormery, Global trade-linked nickel cycle - A Material Flow Analysis (MFA) study considering production and trade of nickel at the global and the country level, Master's thesis in Industrial Ecology, NTNU Trondheim, Norway, June 2022

⁵³ Zie bijvoorbeeld: <https://www.fitchsolutions.com/bmi/commodities/global-nickel-mining-outlook-04-01-2023> en [The future of nickel A class act.ashx \(mckinsey.com\)](https://www.mckinsey.com/industries/mining-and-metals/our-insights/the-future-of-nickel-a-class-act)

⁵⁴ Rem Korteweg en Vera Kranenburg, The good, the bad, and the ugly -Resource nationalism, geopolitics, and processing strategic minerals in Indonesia, South Africa, and Malaysia, Clingendael Report, Mei 2024

Nikkelsulfaat

Nikkelsulfaat (weergegeven door de lichtpaarse vakken 3, 4 en 5) is een steeds belangrijker tussenproduct dat wordt gebruikt bij de productie van kathodematerialen voor lithium-ionbatterijen. Nikkelsulfaat wordt doorgaans geproduceerd door nikkelmetaal of nikkeloxide op te lossen in zwavelzuur, gevolgd door zuiverings- en kristallisatieprocessen om een product met hoge zuiverheid te verkrijgen. Ook batterijschroot kan in deze stap van de toeleveringsketen worden ingezet. Om voor batterijtoepassingen geschikt te zijn moet nikkel afkomstig zijn van zgn. Class-1 Nikkel. Dit is wat in de CRMA bedoeld wordt met 'battery grade' nikkel.

Kathode-actieve materialen (CAM's) en batterijproductie (vak 13):

Nikkelsulfaat wordt verwerkt door middel van precipitatie-, calcinatie- en coatingprocessen om daarmee op nikkel gebaseerde CAM's te produceren, zoals nikkelkobaltmangaan (NCM) of nikkelkobaltaluminium (NCA), die essentiële componenten zijn van lithium-ionbatterijcellen. Kathode-actieve materialen worden tijdens het productieproces van de batterij in lithium-ionbatterijcellen geïntegreerd. Deze cellen worden samengevoegd tot batterijpakketten die worden gebruikt in elektrische voertuigen, draagbare elektronica en stationaire energieopslagsystemen. De vraag naar nikkel in de batterijsector is enorm gestegen als gevolg van de toenemende acceptatie van elektrische voertuigen en oplossingen voor de opslag van hernieuwbare energie.

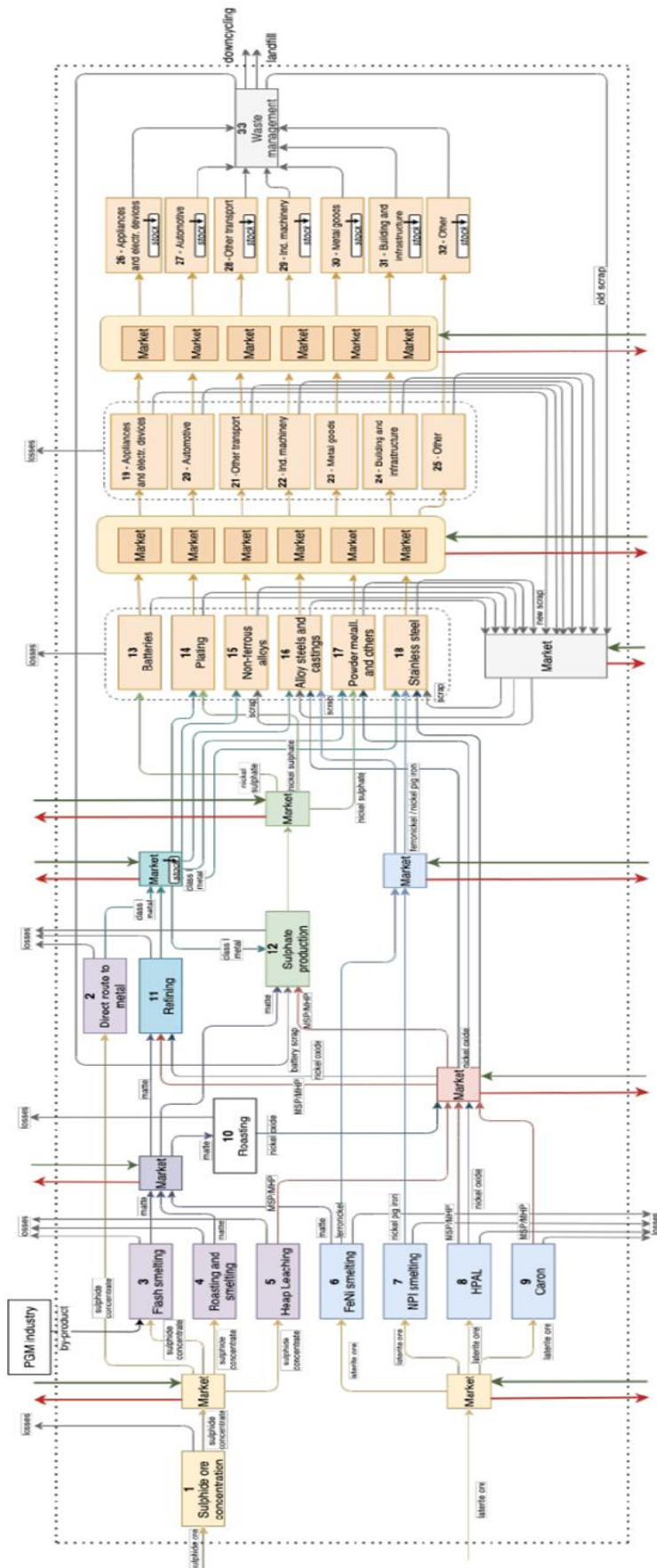
Non-ferrometallurgische toepassingen (Box 14, 15, 16 en 17):

Non-ferrolegeringen die nikkel bevatten worden veel gebruikt in de lucht- en ruimtevaart-, maritieme en chemische industrie vanwege hun corrosieweerstand en hoge temperatureigenschappen. Legeringen op nikkelbasis zijn cruciaal voor de productie van turbinemotoren, chemische verwerkingsapparatuur en hoogwaardige componenten. Vernikkelen biedt corrosiebestendigheid en decoratieve afwerkingen op verschillende oppervlakken in de auto-, elektronica- en consumptiegoederenindustrie. Het dient ook als een barrière tegen slijtage. Nikkelpoeders worden gebruikt in additieve productieprocessen, katalysatoren en speciale toepassingen zoals poedermetallurgie voor de productie van componenten met hoge sterkte in de auto- en ruimtevaartindustrie.

Staalproductie/ferrolegeringen (vak 18):

Een van de belangrijkste toepassingen van nikkel is de productie van roestvrij staal. In de volgende paragraaf gaan we nader in op de toepassingen van nikkel o.a. in RVS.

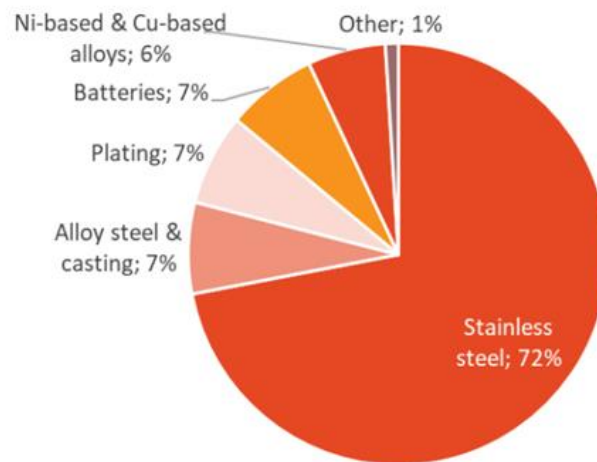
De bovengenoemde stappen vinden hun weg naar verschillende andere productiefasen. Na de gebruiksfasen van eindproducten zijn er goed ontwikkelde end-of-life-processen aanwezig om naar schatting 42% van het nikkel te recyclen waarvan 16% op een kwaliteitsniveau dat feitelijk de primaire extractie vervangt.



Figuur 21 Generic supply chain of Ni (source: Cormery et al.)

4.3 (Groeiende) Toepassingen van nikkel

De belangrijkste toepassingsgebieden van nikkel zijn roestvrij staal (71%), non-ferrolegeringen (10%), platering (6%), batterijen (5%) en andere (8%) (Nickel Institute, 2021). Alhoewel de grootste groei wordt verwacht in de toepassing in batterijen (daarover later meer) laat deze verdeling zien dat die toepassing op dit moment nog ondergeschikt is. Wel wordt geconstateerd dat de groeiende behoefte aan batterijen de druk op class-1 nikkel sterk vergroot.



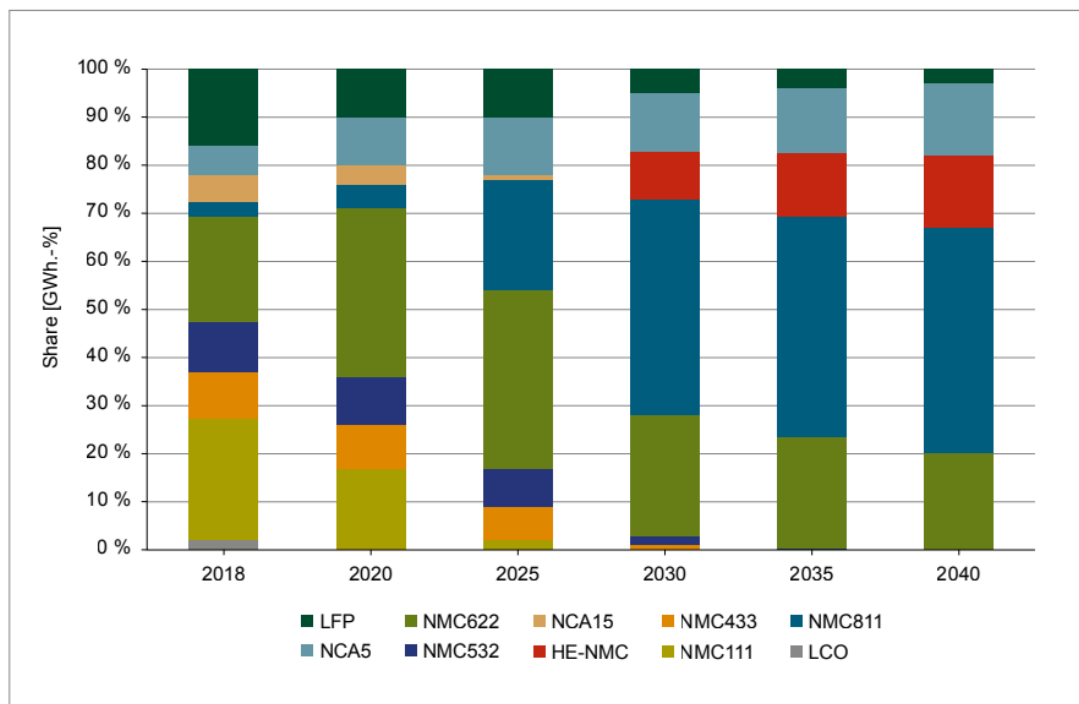
Figuur 22 Mondiale verdeling van toepassingen van nikkel (2020) (bron: SCREEN, INSG)

In roestvrij staal verhoogt nikkel de vervormbaarheid en lasbaarheid, biedt weerstand tegen zuren en verbetert de corrosieweerstand. Door de toevoeging van nikkel (8-10%) ontstaat de belangrijkste klasse van corrosie- en hittebestendige staalsoorten. Roestvrij staal is verantwoordelijk voor ongeveer 65% van het initiële gebruik van nikkel. In andere staallegeringen wordt nikkel gebruikt om de hardheid, kneedbaarheid en dichtheid van de korrel te verbeteren. Legeringen op nikkelbasis hebben kennen ook een lage uitzettingsgraad, waardoor ze zeer geschikt zijn voor toepassingen die extreme temperaturen vereisen..

Er zijn ook non-ferrolegeringen met nikkel. De meest voorkomende is koper-nikkel, dat bijvoorbeeld wordt gebruikt in de maritieme industrie en voor ontziltingsinstallaties. Andere non-ferrolegeringen zijn onder meer nikkel-titaniumlegeringen, die naar hun oorspronkelijke vorm kunnen terugkeren zonder onder spanning plastische vervorming te ondergaan. Nikkel wordt ook ingezet in superlegeringen voor energieopwekking, ruimtevaart en militaire toepassingen, maar deze zijn klein in volume omdat ze nikkel van zeer hoge kwaliteit vereisen.

Nikkel speelt ook een steeds grotere rol in kathodes van batterijen, vooral in verschillende soorten oplaadbare batterijen zoals nikkel-cadmium (NiCd), nikkel-metaalhydride (NiMH) en lithium-ionbatterijen. Bij die laatste groep wordt Ni gebruikt voor de kathodematerialen in Lithium-nikkel-mangaan-kobaltoxide (NMC) batterijen en lithium-nikkel-kobalt-aluminium-oxide (NCA) batterijen. Deze combinatie biedt een verbeterde energiedichtheid, stabiliteit en levensduur. Nikkel vergemakkelijkt de intercalatie en de-intercalatie van lithiumionen tijdens laad- en ontlaadcycli. Nikkel wordt gebruikt vanwege de hoge energiedichtheid, wat bijdraagt aan een langere levensduur van de batterij en betere prestaties. Bij nikkel-cadmiumbatterijen bestaat de kathode doorgaans uit nikkelhydroxide (Ni(OH)₂), dat tijdens het opladen en ontladen reversibele redoxreacties ondergaat.

Het nikkelgebruik in de batterijsector neemt toe en zal naar verwachting de komende jaren nog sneller toenemen⁵⁵, voornamelijk als gevolg van de snelle ontwikkeling van Li-ion-batterijen voor de automobielsector en de verbetering van systemen voor de opslag van elektrische energie (Nickel Institute, 2018). Voorspellingen over het toekomstige gebruik van Ni (en andere componenten) in batterijen zijn relatief moeilijk. Dit komt omdat de opkomst van elektrische mobiliteit nogal onzeker is en omdat het ontwerp van de batterijen de komende jaren aan verandering onderhevig is. DERA/Fraunhofer geven een routekaart voor de ontwikkeling van verschillende soorten batterijen tot 2040⁵⁶.



Figuur 23 Schattingen van de verspreiding van batterijtypen (bron: DERA/Fraunhofer)

In het meest 'agressieve' scenario schat DERA dat de vraag naar Ni voor batterijen in 2040 wel 2 Mton zou kunnen bedragen, dat wil zeggen rond dezelfde orde van grootte als de totale huidige Ni-productie (vergeleken met een gebruik in 2018 voor batterijen van slechts 32 kt).

Nikkel in chemische toepassingen is een laatste voorbeeld van het gebruik ervan in onze economie. De Raney-nikkelverbinding, bedoeld om het oppervlak van het metaal te maximaliseren voor katalytische doeleinden, is een voorbeeld van een toepassing die zeer belangrijk is bij de productie van elektrolyzers voor grootschalige waterstofproductie.

Een analyse van mondiale import- en exportgegevens (met behulp van de UN Comtrade-database) geeft inzicht in de knelpunten in toeleveringsketens. Deze methodiek is recent

⁵⁵ https://screen.eu/wp-content/uploads/2023/12/SCREEN2_factsheets_NICKEL-update.pdf

⁵⁶ Marscheider-Weidemann, F. et al.; Langkau, S.; (2021): Raw materials for emerging technologies 2021, – DERA 5RKVWRI₂QIRUPDWLROHQ 50: 348 p., Berlin

ontwikkeld en gerapporteerd door TNO ⁵⁷. Een uitgebreide toelichting en achtergrond van de methodiek vindt u in bijlage 3.

Voor de analyse van de knelpunten in de supply chain voor Ni richten we ons op de materialen en producten waarvoor handelsgegevens beschikbaar zijn in de UN Comtrade database (op 6-cijferig niveau) of in rapporten van de INGS of BGS: we richten ons op de 'first intermediates' en op de productgroepen die de naam 'roestvrij staal' in hun beschrijving bevatten, want roestvrij staal vertegenwoordigt veruit de grootste toepassing voor nikkel (en al het roestvrij staal bevat nikkel). Daarnaast analyseren we twee batterijtypes waar nikkel in wordt toegepast.

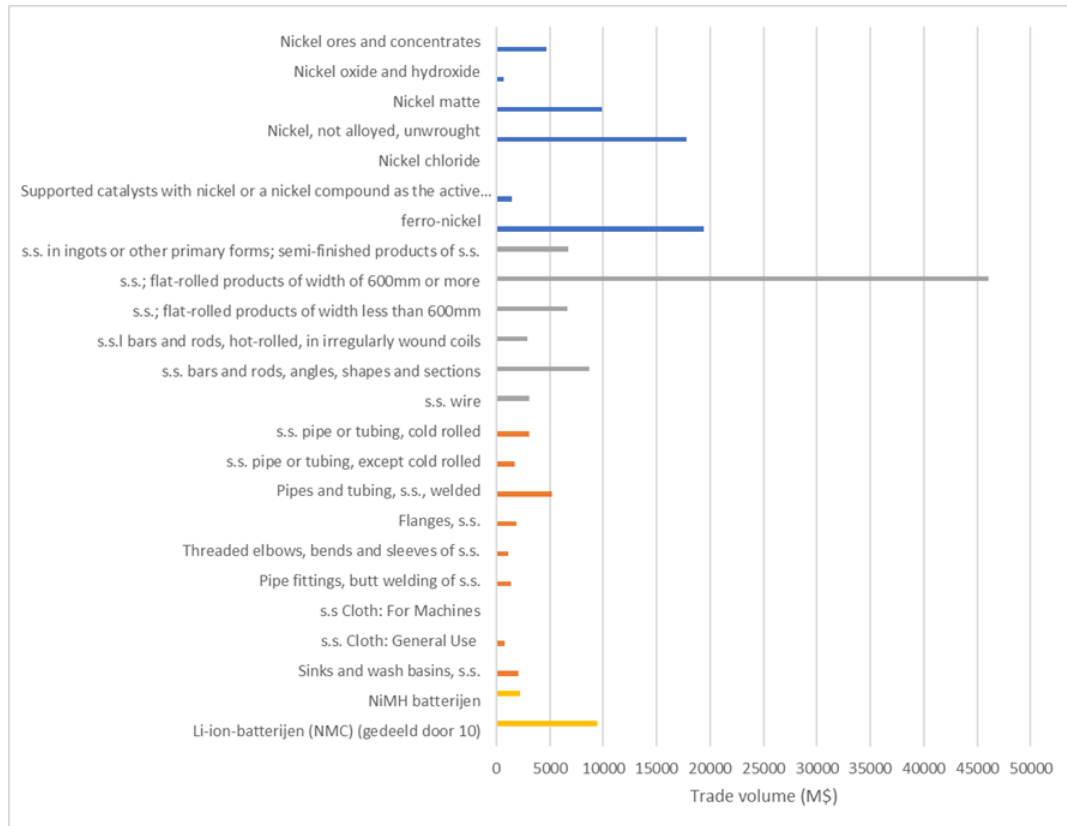
De productgroepen die worden beoordeeld zijn:

- Grondstoffen
 - Ni ore (data from BGS)
- First intermediates
 - primary Ni production(data from INGS)
 - data from BACI and Comtrade; (2021 and 2022)
 - Ni, unwrought, not alloyed (HS 750210)
 - Ni matte (HS 750110)
 - Ni(OH)2 (HS 282540)
 - NiCl2 (HS 282735)
 - Ni catalysts (“Supported catalysts with nickel or a nickel compound as the active substance, n.e.s. “) (HS 381511)
- “Stainless steel’ productgroepen
 - 7218 Stainless steel in ingots or other primary forms; semi-finished products of stainless steel
 - 7219 Stainless steel; flat-rolled products of width of 600mm or more
 - 7220 Stainless steel; flat-rolled products of width less than 600mm
 - 7221 Stainless steel bars and rods, hot-rolled, in irregularly wound coils
 - 7222 Stainless steel bars and rods, angles, shapes and sections
 - 7223 Stainless steel wire
 - 730441 Stainless steel pipe or tubing, cold rolled
 - 730449 Stainless steel pipe or tubing, except cold rolled
 - 730640 Pipes and tubing, stainless steel, welded
 - 730721 Flanges, stainless steel
 - 730722 Threaded elbows, bends and sleeves of stainless steel
 - 730723 Pipe fittings, butt welding of stainless steel
 - 731412 Stainless Steel Cloth: For Machines
 - 731414 Stainless Steel Cloth: General Use
 - 732410 Sinks and wash basins, stainless steel
- Batterijen
 - 850750 Electric accumulators: nickel-metal hydride, including separators, whether or not rectangular (including square) (oplaadbare NiMH batterijen)
 - 850760 Electric accumulators: lithium-ion, including separators, whether or not rectangular (including square)(Li-ion-batterijen, o.a. voor EVs)

Deze toepassingen variëren sterk in hun totale verhandelde volume (Figuur 24).

De handelsvolumes in de uitgangsmaterialen voor de productie van roestvrij staal, ferro-nikkel en ruw nikkel, en tussenproducten in de productie van roestvrij staalproducten, zoals 'platgewalste producten', zijn veruit het grootst. De chemische producten en nikkeltussenproducten zoals hydroxide en chloriden vertonen slechts vrij kleine volumes.

⁵⁷Ton Bastein, Ivan Vera Concha, Elmer Rietveld, Zicht op strategische ketenafhankelijkheden voor de Nederlandse economie | ontwikkeling van een methode, 2023, in opdracht van het Ministerie van Buitenlandse Zaken

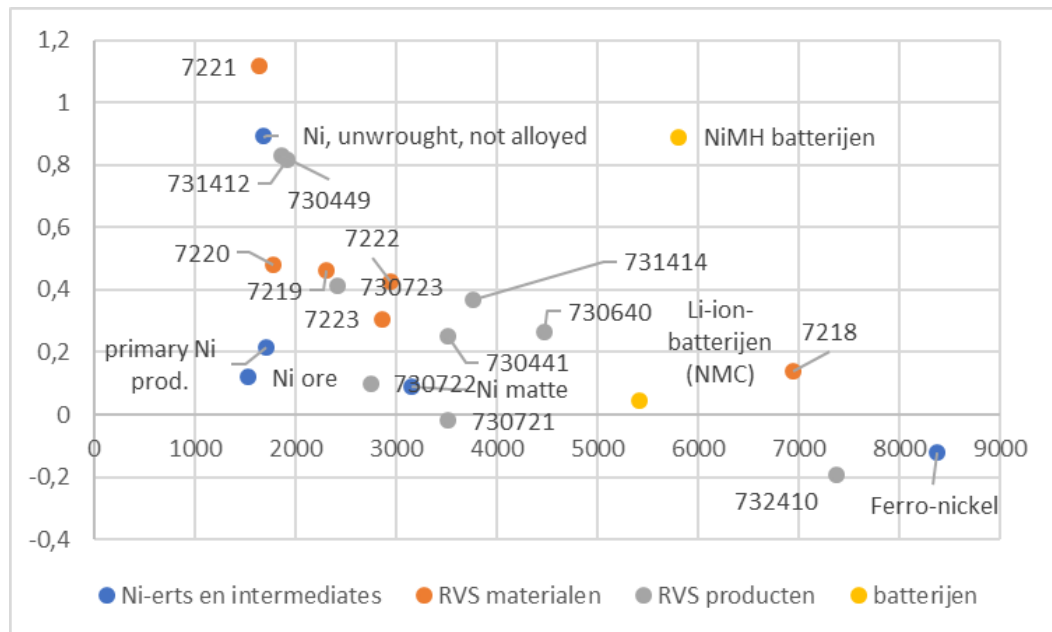


Figuur 24 Handelsvolumes Ni-gerelateerde productgroepen incl. roestvrij staal (grijze staven: roestvrijstalen tussenproducten; oranje: roestvrijstalen producten/componenten (bron: BACI/OEC)

Voor de beoordeling van knelpunten beoordelen we de concentratie van de producerende landen (weergegeven door de Herfindahl-Hirschmann Indicator HHI en de gemiddelde stabiliteit van de producerende landen (weergegeven door de gewogen WGI, de World Governance Index. Hogere risico's op verstoring van het aanbod worden gekenmerkt door een hoge HHI (doorgaans wordt een HHI hoger dan 2.500 als zeer geconcentreerd beschouwd) en door een lage (d.w.z. niet gunstige) WGI. Een WGI-waarde lager dan 0,13 (dat wil zeggen onder het laagst scorende EU-land) kan als ongunstig worden beschouwd.

Vanwege het overweldigende belang van de toepassing van Ni in roestvrij staal, concentreren we ons in deze bottleneck-analyse op de productie van roestvrijstalen producten , waarvoor roestvrijstalen tussenproducten zoals blokken, rollen en draden nodig zijn. We kijken daarbij ook naar ferro-nikkel, nikkelmatte en nikkel-erts, omdat de productie van roestvrijstalen tussenproducten ook afhankelijk is van deze materialen.

De resultaten van de analyse van Ni-gerelateerde bottlenecks zijn weergegeven in Figuur 16



Figuur 25 Knelpunten in de toeleveringsketen voor de nikkelgerelateerde roestvrijstalen toeleveringsketen; Omwille van de duidelijkheid worden de HS-codes gebruikt als datalabels.

De grondstoffen (Ni-erts en primaire Ni-productie) behoren tot de minst geconcentreerde van de hier getoonde productgroepen. Het belangrijke tussenproduct bij de productie van roestvrij staal, ferro-nikkel, is echter het materiaal dat de hoogste exportconcentratie vertoont, waarbij Indonesië verantwoordelijk is voor meer dan 90% van de wereldproductie (vandaar ook de lagere gemiddelde WGI).

De tussenproducten met de hoogste handelswaarde (7219 roestvrij staal; platgewalste producten met een breedte van 600 mm of meer en 7220 roestvrij staal; platgewalste producten met een breedte van minder dan 600 mm) vertonen een gematigde concentratie (HHI lager dan 2.500) en een vrij gunstige gemiddelde WGI, dankzij de productiecapaciteiten van België, Finland en Japan. De enige andere sterk geconcentreerde producten zijn 'ingots' (7218) met een aandeel van 82% in Indonesië en 'Sinks and wash basins' (gootstenen en wastafels) (732410) met een aandeel van 85% in China.

Het Chinese aandeel in de meeste van deze producten varieert tussen 25 en 50% van het aandeel van de mondiale productie.

Verscheidene Europese landen zijn actief op het gebied van roestvrijstalen producten, zoals Italië (58% aandeel in 'pipe and tubing' (buizen en leidingen), 730640 en 36% aandeel in 'bars and rods' (staven en stangen), 7222), Spanje (verschillende producten met een aandeel van ongeveer 20%) en Zweden (30% in 'pipe and tubing' (buizen en leidingen), 730449). Alleen in het vrij kleine product 'Stainless Steel Cloth: For Machines' (731412) heeft Nederland een belangrijke exportpositie van 26%.

De huidige situatie m.b.t. de productie van batterijen laat een enorme concentratie van export (als proxy voor productie) zien. Daarbij is Japan (met bijna 70% van het exportvolume) verreweg de grootste exporteur van NiMH-batterijen (gevolgd door China met ongeveer 28%). Daarentegen is China dominant in de export van Li-ion-batterijen met een aandeel in wereldwijde export van ongeveer 70% (daarbij gevolgd door Polen met ongeveer 15% op basis van de productie van het bedrijf BMZ Poland). Het is met name dit

batterijlandschap dat de komende jaren sterk aan verandering onderhevig zal zijn, gezien de (onder andere) investeringen in zogeheten giga-factories, onder andere in Europa.⁵⁸

4.4 Een nadere analyse van de nikkelketen: bedrijven in beeld

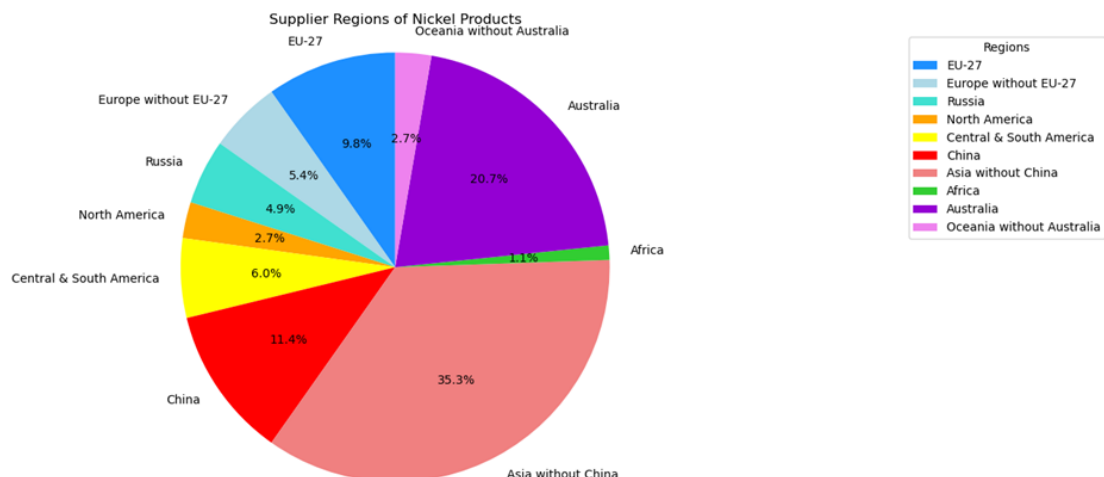
In de voorgaande paragrafen is ook op basis van publieke data een beeld geschetst van de keten van nikkel van erts tot aan applicaties als roestvrijstaal en batterijen.

Om een gedetailleerder beeld te krijgen van specifieke applicaties en eventuele gevoeligheden m.b.t. de leveringszekerheid van materialen, is informatie op bedrijfsniveau zeer inzichtelijk. Dit is mogelijk te verkrijgen op basis van commerciële en niet-publieke data. Voor deze nikkel-case-study hebben we besloten de nikkelketen nader te analyseren met behulp van de supply chain-database van FactSet, een database die ook door de EC werd gebruikt om supply chains te analyseren. Deze database biedt de mogelijkheid om details op bedrijfsniveau te analyseren, wat mogelijk meer inzicht biedt in de concrete ketens die in de keten ontstaan. Een uitgebreide beschrijving van deze database vindt u in bijlage 4.

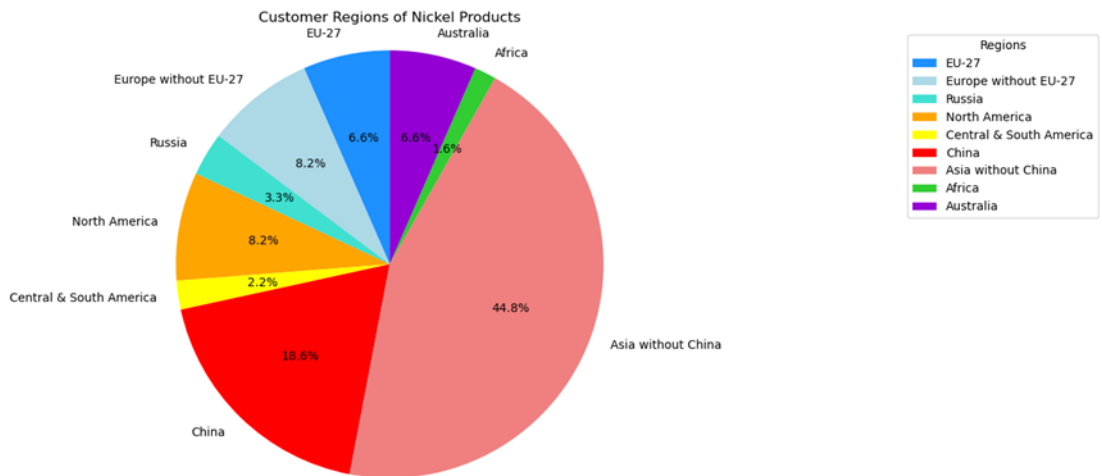
4.4.1 Geografische spreiding van verschillende productiefasen

Er is een analyse gemaakt van de distributie van ontvangende bedrijven (klanten) en producerende bedrijven (leveranciers). Hierbij is gekeken naar verschillende productsoorten van nikkel, zoals deze in de door FactSet verzamelde handelstransacties naar voren komen.

Figuur 21 geeft een verdeling weer van de locatie (in 10 regio's) van bedrijven die handelen in nikkel. De figuur toont zowel de regio's waar leveranciers als waar klanten gevestigd zijn.



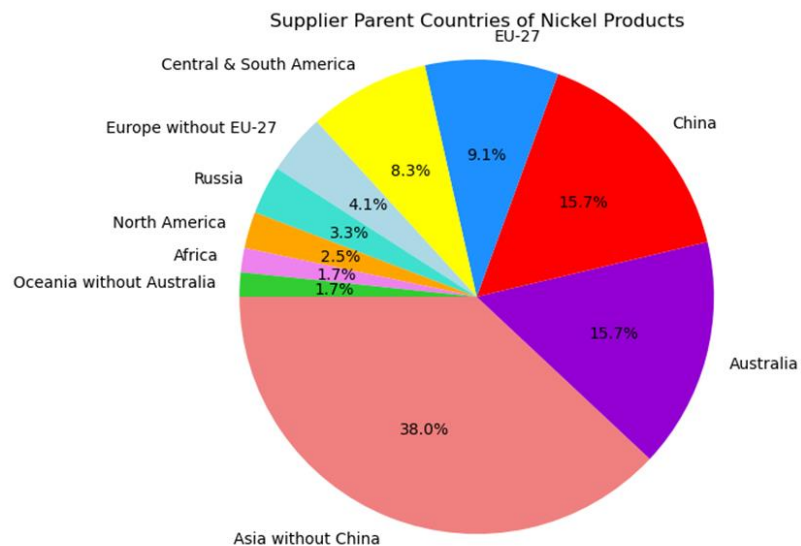
⁵⁸ Een overzicht van wereldwijde initiatieven in elke stap van de batterij-waardeketen t.b.v. EV wordt gegeven door [Battery Atlas - Battery-News](https://battery-news.de/en/battery-atlas/); <https://battery-news.de/en/battery-atlas/>

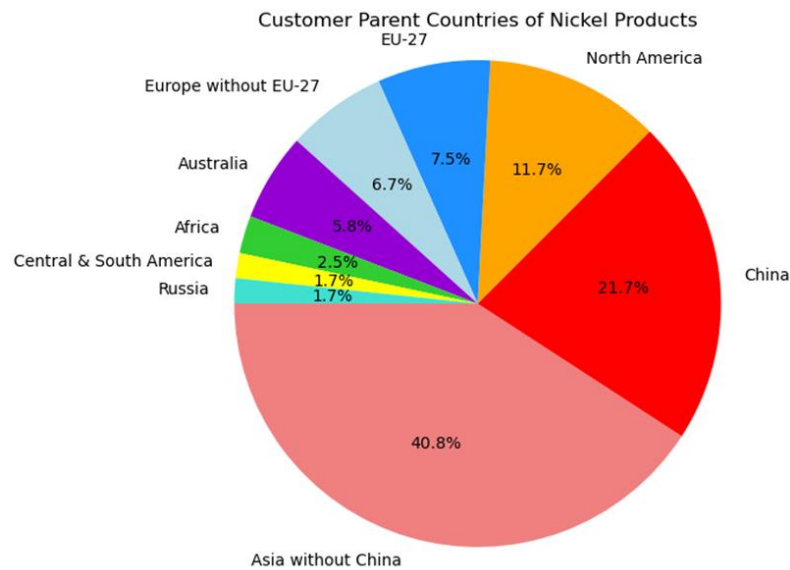


Figuur 26 Leveranciers- (boven) en klant- (onder) regio's van Ni-producten (bron Factset)

Sommige bedrijven zijn ook onderdeel van een groter bedrijf, een zogenaamde moedermaatschappij. Het identificeren van deze relaties en van de locatie van moedermaatschappijen geeft belangrijke informatie over geopolitieke aspecten van winning en productie.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat het aandeel van Australische bedrijven in termen van aantallen bedrijven en transacties groter is dan wanneer naar productievolumes wordt gekeken (vergelijk Figuur 17). Dit kan er op wijzen dat Australische bedrijven in relatief kleine volumes handelen, of dat hun transacties oververtegenwoordigd zijn in de gegevens in Factset.



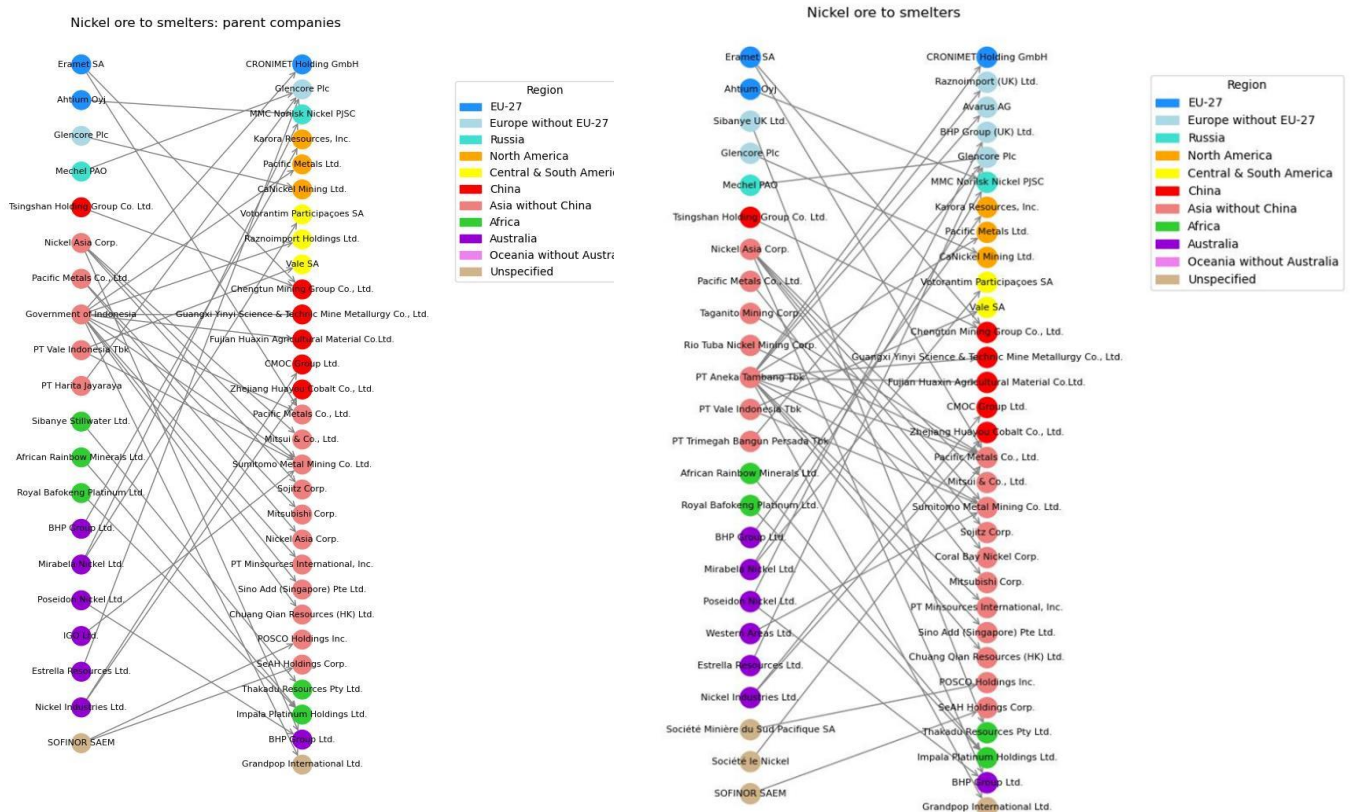


Figuur 27 Locatie van moederlanden van bedrijven voor leveranciers (boven) en klanten (onder) (bron: Factset)

Voor zowel klanten als leveranciers is het marktaandeel van Chinese bedrijven als moedermaatschappij groter dan wanneer alleen naar de locatie van de werkmaatschappij wordt gekeken. Dit sluit aan bij het eerder geconstateerde belang van Chinese partijen in de Indonesische verwerking van nikkelerts tot Class-1-nikkel (via de HPAL-route). Het aandeel van Australië neemt af als rekening wordt gehouden met de vestigingsplaats van moederbedrijven. De Australische productie is klaarblijkelijk deels in buitenlandse handen. Het is duidelijk dat dergelijke informatie over de locatie van moedermaatschappijen relevant is als het gaat om het aangaan van op grondstoffen gerichte partnerschappen.

4.4.2 De relaties tussen mijnbouw en smelterijen

Factset geeft details over belangrijke stappen in de supply chain op bedrijfs- (en daarmee ook landen-) niveau. De eerste stap, weergegeven in Figuur 28, is de stap van Ni-erts naar smelterijen. De kleurcodes in dit overzicht geven de landen/regio's van de moederbedrijven weer zoals deze in FactSet zijn vermeld.



Figuur 28 Relaties tussen mijnbouw- en smelter-bedrijven (moedermaatschappijen links; werkmaatschappijen rechts) (bron: Factset)

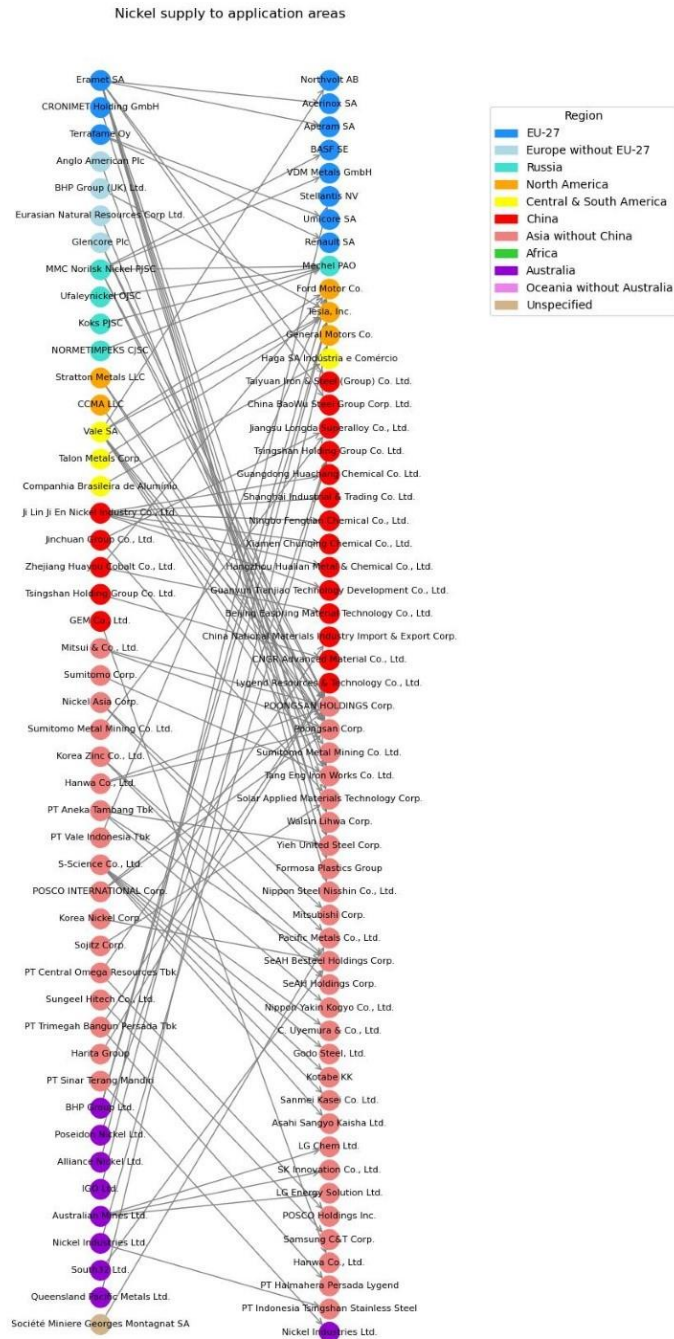
Het is interessant om op te merken dat PT Aneka Tambang Tbk, een staatsbedrijf (met de Indonesische overheid als moederbedrijf), afnamecontracten heeft met een relatief groot aantal mijnbouwbedrijven die ook smelterijen exploiteren. Deze ontvangende bedrijven zijn wereldwijd gevestigd en hebben contracten voor verschillende vormen van nikkel. Het contract van PT Aneka Tambang met Sumitomo betreft bijvoorbeeld de verwerking van laagwaardig nikkel, vanwege de technologische competentie van laatstgenoemde op dit gebied. De connectie met Pacific Metals betreft waarschijnlijk een ferronikkelsmelterij.

Deze voorbeelden laten zien waar niet-publieke databases (zoals in dit geval FactSet) additieve diepgang ten opzichte van publieke databases verlenen aan inzicht in de aard van transacties. Het beschikbaar hebben van individuele bedrijfsnamen biedt een belangrijk vertrekpunt voor verder onderzoek. Op basis van het hier beschreven inzicht in transacties waren we bijvoorbeeld in staat gericht informatie te zoeken over PT Aneka Tambang, hun klanten en de vormen van nikkel zij die inzetten.

Opvallend is ook dat Chinese bedrijven vaker in de tweede fase van de supply chain verschijnen. Dit kan het gevolg zijn van het feit dat de gebruikte FactSet-data grotendeels gebaseerd zijn op openbaar beschikbare gegevens. Bij transacties waarbij een Chinees en niet-Chinees bedrijf betrokken is, wordt de transactie vaak door de niet-Chinese partij gemeld. Transacties tussen Chinese partijen onderling zullen ondervertegenwoordigd zijn in de dataset.

Europa is vrijwel afwezig in dit overzicht: alleen Eramet (als grote nikkelproducent) en Ahtium (Finse nikkelmijnbouw) komen naar voren als leverancier en alleen Cronimet als 'smelter'.

4.4.3 Analyse van Ni-toepassingen



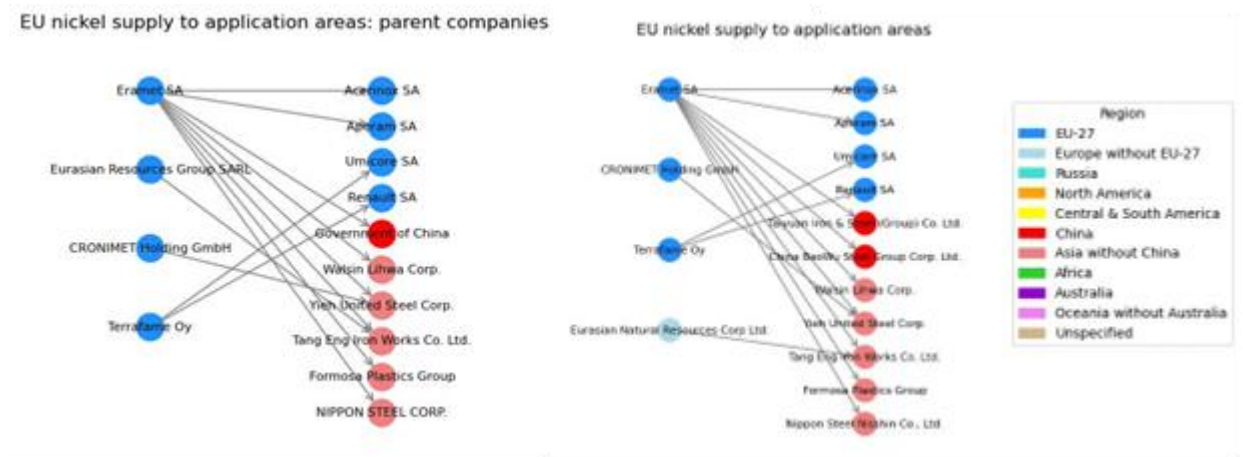
Figuur 29 Transacties van (verwerkt of onbewerkt) nikkel naar bedrijven die legeringen, batterijen, coatingmaterialen en andere producten produceren

Alhoewel de analyse van publieke data duidelijkheid biedt over de toepassingsgebieden van nikkel, leidt de inzet van Factset tot inzicht in specifieke namen van bedrijven waarvan duidelijk is dat zijn nikkel in hun productieprocessen inzetten. De gevonden applicaties betreffen legeringen, batterijen en verschillende coatingmaterialen.

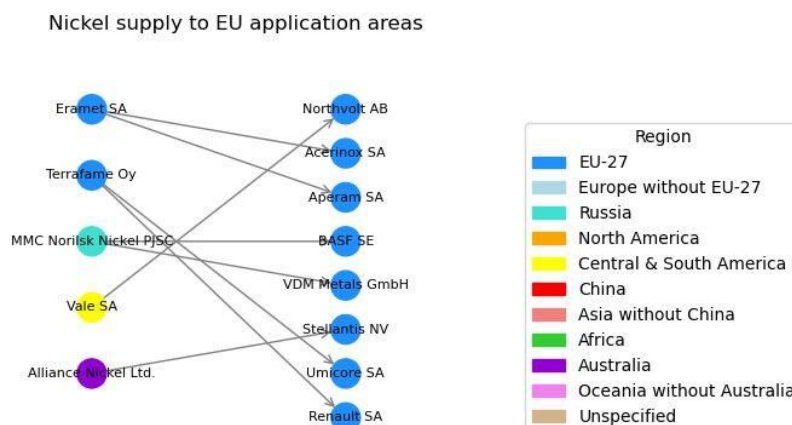
De grote hoeveelheid Chinese en overige Aziatische bedrijven in deze analyse valt op, naast het zeer geringe aandeel van Europese leveranciers. Hier lijken alleen Eramet, Cronimet en Terrafame Oy een rol te spelen.

Die geringe rol van Europa in transacties die direct met nikkel (als zoekcriterium) te maken hebben is ook te zien als we alleen focussen op transacties afkomstig uit de EU (Figuur 30) en transacties die eindigen in de EU (Figuur 31). Bij beide categorieën transacties blijken ook nog transacties tussen Europese partijen onderling de hoofdrol te spelen.

Voor zover de dekking van transacties een compleet of significant plaatje laat zien, lijkt duidelijk dat Europa in de eerste stappen van de nikkelketen een ondergeschikte rol speelt.



Figuur 30: nikkeltransactie afkomstig uit de EU



Figuur 31: toont alle transacties in figuur 24 die eindigen in de EU.

Europese spelers die ‘downstream’ consumenten van nikkelproducten zijn, zijn onder andere Northvolt, Stellantis, Renault, Aperam, BASF, VDM Metals, Umicore, Acerinox. De eerste drie

bedrijven spelen een rol in de productie van batterijen voor elektrische auto's. Het is opvallend dat deze bedrijven een relatie hebben met 'upstream' leveranciers van verschillende nikkelproducten, waaronder nikkelsulfaat.

4.4.4 Case study: batterijen

In deze paragraaf gaan we dieper in op de transactienetwerken die ontstaan in het nog steeds vrij kleine maar groeiende toepassingsgebied van batterijen. Alhoewel uit de beschikbare data niet altijd onmiddellijk duidelijk is wat de transactie inhoudt, hebben we getracht de transacties gerelateerd aan batterijen te identificeren, door te kijken naar het type bedrijven, hun branche en de beschrijving van activiteiten die deze bedrijven zelf geven.

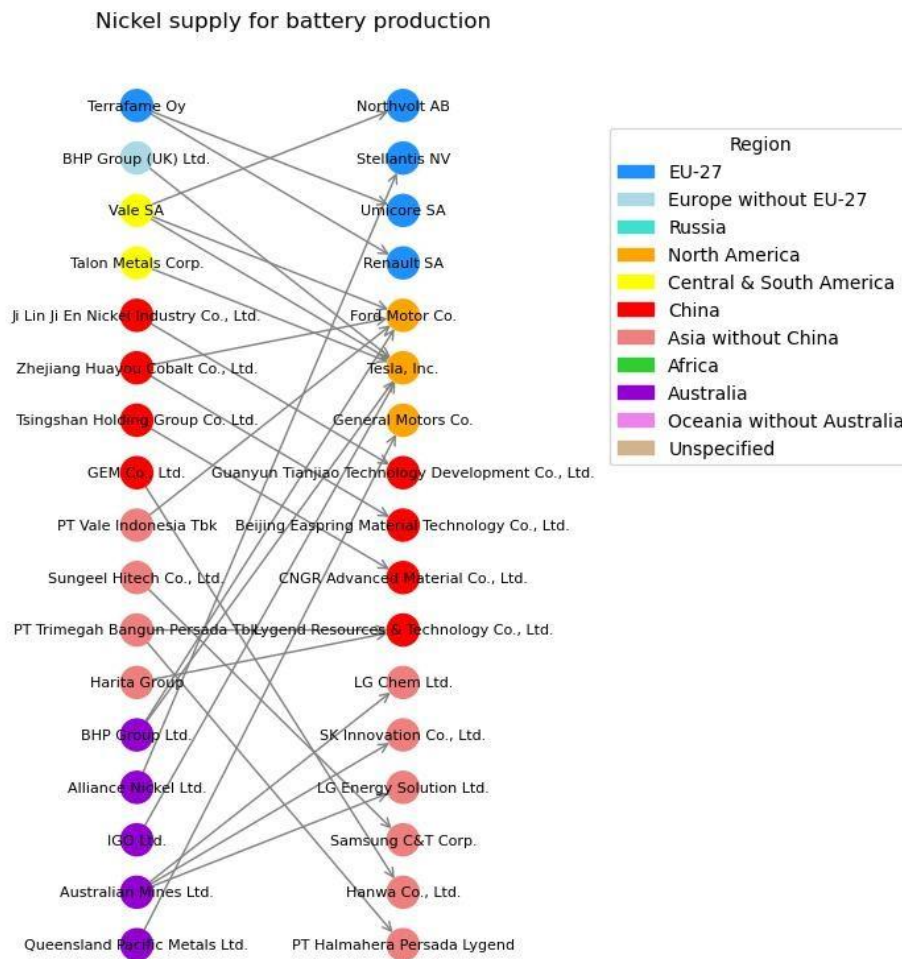
In dit onderzoek hebben wij ons vooral gericht op trefwoorden die te relateren waren aan nikkelerts en 'first intermediates'. Het gebruik van 'nikkel' als trefwoord om transacties te vinden resulteert in transacties vroeg in de supply chain.

Deze analyse is des te belangrijker omdat in de CRMA expliciet 'battery grade Ni' (zonder nadere specificatie) als Critical en Strategic Raw Material (CRM en SRM) is benoemd in plaats van nikkel in het algemeen. Dat betekent bijvoorbeeld dat ondersteuning van zogenaamde 'Special Projects' (bijvoorbeeld bij financiering of ondersteuning bij vergunningverlening) in dit geval alleen 'battery grade Ni' betreft.

De resultaten van deze op de batterij-keten gerichte analyse zijn te vinden in Figuur 32.

De meeste geregistreeerde transacties zijn te vinden in China en de rest van Azië. In Europa verschijnen Renault, Stellantis, Umicore en Northvolt als klanten voor het Ni-aanbod. In Noord-Amerika zien we autofabrikanten Tesla, General Motors en Ford onder de klanten verschijnen. Zoals in de vorige paragraaf ook aangestipt, zijn verschillende producenten van EV-batterijen en elektrische auto's actief op zoek naar directe levering van o.a. nikkel-verbindingen.

Het is opmerkelijk dat er slechts een klein aantal geregistreeerde transacties is tussen Europese bedrijven en Aziatische bedrijven. Aziatische bedrijven lijken materialen vooral aan Aziatische klanten te leveren.



Figuur 32 Toeleveringsketen bij de productie van EV-batterijen (bron: Factset)

Deze gegevens kunnen als uitgangspunt voor verder onderzoek ingezet worden. Op basis van deze analyse lijkt bijvoorbeeld Australië een belangrijke rol te spelen in de nikkelvoorziening voor batterijen. Bij een andere zoektocht blijkt inderdaad dat Australië wordt beschouwd als een relatief groene bron van nikkel; Bijvoorbeeld: “*Material sourced from Queensland Pacific Metals will help support EV eligibility for consumer incentives under the new clean energy tax credits for General Motors.*”⁵⁰ De nikkelreserves van BHP in West-Australië worden ook beschouwd als “*some of the most sustainable and lowest carbon intensity nickel in the world.*”⁵¹

4.4.5 ‘Deep dives’ in de nikkelketen

De toegevoegde waarde van de inzet van niet-publieke data (zoals Factset) zit vooral in het boven water krijgen van specifieke informatie over transacties en de daarbij betrokken bedrijven. Dergelijke informatie kan het vertrekpunt zijn van nadere analyse van de activiteiten van die individuele bedrijven, en daarmee ook de vertaling zijn naar een meer specifiek nationaal belang. Uit de hier verrichte analyse van de vroege stadia van de

nikkeltoeleveringsketen kwamen onder andere de volgende bedrijven naar voren die in aanmerking zouden kunnen komen voor nadere analyse.

Poongsan Corporation en hun rol in munitie en explosieven

Poongsan Corporation (opgericht in 1968) is een Zuid-Koreaans conglomeraat dat zich voornamelijk bezighoudt met de productie van metaalproducten, waaronder nikkel. Het produceert metaalproducten voor vele sectoren: defensie, automobielsector, elektronica en bouw. Specifieke producten zijn integrale componenten in elektrische bedrading, telecommunicatieapparatuur, connectoronderdelen, koperstrips met meerdere gauge, precisiematrijzen, kleinkaliber-munitie en industriële machines. Verder produceert het verschillende halfgeleider-leadframes (waaronder PMC102M, PMC26, PMC90, C194 en C19210).

Onderzoek naar de relaties met dit bedrijf kunnen interessant zijn vanwege het feit dat ze genoemd worden vanwege de mogelijke productie van clustermunitie⁵⁹. De hier ingezette database kan daarbij behulpzaam zijn, aangezien de database 317 transacties bevat met Poongsan als leverancier of klant.

Aneka Tamban en de link met de Chinese EV-productie

Aneka Tambang (opgericht in 1968), ook bekend als Antam, maakt deel uit van de Indonesische mijnbouwindustrie en is vooral actief op de nikkelmarkt. De Indonesische regering bezit ongeveer 65% van de aandelen van Antam. Het bedrijf beschikt over uitgebreide nikkelreserves in heel Indonesië, met name in Sulawesi, waar het verschillende mijnen en verwerkingsfaciliteiten exploiteert. Het exploiteert ook *downstream* verwerkingsfaciliteiten. Deze faciliteiten raffineren nikkelerts tot nikkelmatte en nikkel-gietijzer, waardoor de positie van het bedrijf in de mondiale nikkeltoeleveringsketen wordt versterkt.

Bedrijfsvoorzitter R. Sukhyar bekleedt nog steeds een functie als directeur-generaal voor steenkool en minerale hulpbronnen bij het Indonesische ministerie van Energie en Minerale Hulpbronnen. Vanuit deze rol geeft Sukhyar exploitatievergunningen af en kan hij arbitrage uitvoeren bij disputen m.b.t. regelgeving.

Door dit bedrijf meer in detail te volgen kan mogelijk meer inzicht worden verkregen in de relatie tussen de Indonesische overheid en hun rol richting Chinese afnemers. Door te kijken naar de specifieke afnemers van Aneka kan zicht worden geworpen op de ontwikkeling rond de inzet van nikkel in Indonesië zelf en in de productie van elektrische voertuigen in China.

POSCO en nikkelrecycling

POSCO (opgericht in 1968), een afkorting van Pohang Iron and Steel Company, is één van de gevestigde industriële conglomeraten in Zuid-Korea. Het is een van de grootste staalproducenten ter wereld op basis van geïmporteerd ijzererts.

Naast de primaire staalproductieactiviteiten behoorde POSCO tot de eerste investeerders in grootschalige metaalrecycling. POSCO's recente investering vond plaats in een fabriek in het Yulchon Industrial Complex in Zuid-Jeolla. Het zal tot 12 kt zwarte massa per jaar kunnen verwerken, gewonnen uit afgedankte batterijen, en daarmee 2.500 ton nikkel, 800 ton kobalt en 2.500 ton lithiumcarbonaat kunnen terugwinnen (KoreaJoongAngDaily 2023).

Door de prestaties en presentaties van dit bedrijf te volgen zou het mogelijk kunnen zijn het technische en economische succes van nikkelrecycling te monitoren. In dit kader zijn vooral de gepubliceerde prestaties van secundair nikkel in vergelijking met primair nikkel relevant

⁵⁹ <https://stopexplosiveinvestments.org/poongsan-stop-producing-cluster-bombs/>

(Businesskorea 2023). De relaties met klanten van secundaire materialen kunnen mogelijk met deze databases achterhaald worden. Zo is POSCO zelf leverancier of klant van 2910 transacties in de FactSet-database.

Vanzelfsprekend zijn er gegevens over meer recyclingbedrijven in deze database aanwezig. Dergelijke kennis kan helpen bij het uitvoeren van dergelijke monitoringtaken.

Andere recyclingbedrijven waarvan transacties zijn vastgelegd zijn: Cronimet (DE; recycleert roestvrij staal), Stratton Metals (VS; recycleert ferro- en non-ferrometalen), Sungeel Hitech (KR; recycling van lithium-ionbatterijen) en Li-Cycle Holdings (CA; lithium-ionbatterijrecycling van ionenbatterijen).

Tot slot: het is onmogelijk om te proberen de volgende disruptie van leveringsketens te voorspellen. De hier beschreven individuele cases tonen echter het nut aan van de mogelijkheid om leveringsketens in verschillende stadia in kaart te brengen. Een overzicht van specifieke bedrijven en hun relaties zal supply-chain-onderzoek stimuleren en verdiepen, bijvoorbeeld door de achtergrond van een bedrijf na te kunnen gaan, ontwikkelingen in een (reeks) productgroepen of sectoren te kunnen evalueren of door specifieke contacten te kunnen vinden voor het toetsen van beleidsacties voor de langere termijn.

4.5 Handel in nikkel

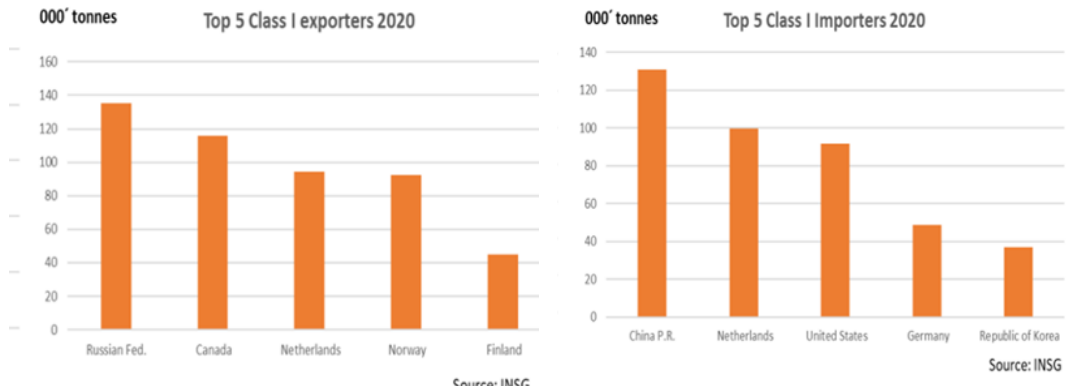
Er bestaat een 'vrije markt' handel in nikkel in de vorm van (onder meer) kathodes, pellets en briketten. Nikkel in deze vormen wordt verhandeld op de London Metal Exchange. Dit is van belang gezien de perspectieven die de nikkelhandel biedt aan handelaren en logistieke dienstverleners, bijvoorbeeld door nikkel als onderpand te gebruiken of onzekerheden af te dekken. De prijs wordt daarom ook op de mondiale markten in grote lijnen gecoördineerd, in plaats van dat er op basis van individuele transacties een prijs wordt overeengekomen. Hoewel de vraag toeneemt en Indonesië exportbeperkingen oplegde, bedroeg de volatiliteit van de contante nikkelprijs op de London Metal Exchange in de periode 2017-2021 22% (DERA) bij een prijsniveau van 21.500 US\$/ton. Bij een kostprijs van ongeveer 6000 \$/t voor roestvrij staal 316 (warmgewalst spiraal) bedraagt het kostenaandeel voor (8%) Ni ongeveer 30%. Dit hoge cijfer maakt de prijs van roestvrij staal sterk afhankelijk van de volatiliteit van de Ni-prijs. Als de Ni-vraag ten behoeve van de productie van batterijen toeneemt, kan deze opwaartse druk op de Ni-markt leiden tot kostenstijgingen voor het grootschalige gebruik van Ni in roestvast staal.

4.6 Slotopmerkingen: nikkel in Nederland

Net als ferrovanadium wordt Ni veelvuldig gebruikt voor specifieke staaltoepassingen. Gezien de hoge prijs en prijsvolatiliteit van Ni kunnen eindgebruikers in Nederland te maken krijgen met deze volatiliteit voor roestvrij staal in de materialen, componenten of producten die zij aanschaffen. De toename van het gebruik voor de productie van EV-batterijen kan leiden tot een opwaartse druk op de Ni-prijs en daarmee op de prijs van roestvrij staal.

Zoals het World Nickel Fact Book, uitgegeven door de International Nickel Study Group, opmerkt, speelt Nederland een bijzondere rol in de mondiale handel in nikkel. In hun recente jaarboek stelden ze dat uit statistieken blijkt dat “ *nickel warehouse and trade hubs emerged*

as major exporters” and that “in 2020 a majority of the exports was done by major refining countries with the exception of the Netherlands”. Ook voor importeurs concludeert de INSG dat “with the exception of the Netherlands, the top four importers were also major users of nickel.”



Figuur 33 Top 5 exporteurs (links) en importeurs (rechts) van nikkel (bron: INSG)

De dominante rol van de Nederlandse handel bleek ook uit de BACI-data waarin we de rol van Nederland in de mondiale import en export analyseerden (zie bijlage 2). De handelsrol van Nederland in het algemeen mag niet worden onderschat.

Bij de overwegingen die spelen rond het mogelijk aanleggen van strategische voorraden als middel om de aanvoer van (kritieke) grondstoffen veilig te stellen, kan de aanwezigheid van zeer professionele handelaren een aanwinst zijn voor de Nederlandse economie.

5 Op weg naar hoogwaardige supply chain-analyses

Van kritikaliteit van grondstoffen naar inzicht in supply chains

Dit rapport beschrijft de situatie met betrekking tot de grondstoffen germanium, (ferro)vanadium en nikkel en toeleveringsketens die met deze grondstoffen verbonden zijn en geeft een eerste (en niet volledig en finaal) inzicht in de risico's die verband houden met deze ketens en de mogelijke Nederlandse rol daarbij. Het geeft ook een beeld van de mogelijkheden die niet-publieke databases bieden bij vervolgonderzoek.

Deze analyses vertegenwoordigen daarmee een eerste *pilot* van onderzoek dat streeft naar inzicht in de bottlenecks in volledige toeleveringsketens in plaats van alleen in bottlenecks gerelateerd aan (onbewerkte en bewerkte) grondstoffen. Alleen door deze analyses uit te breiden en de aandacht te blijven vestigen op de gehele keten kunnen we uiteindelijk de rol van grondstoffen (of het gebrek daaraan) voor het publiek belang in een Nederlandse context analyseren.

Om het mogelijk te maken om op continue basis risico's voor de Nederlandse samenleving op het gebied van de leveringszekerheid van ligt in de verwachting dat in de loop van 2024 een 'Nederlands Materialen Observatorium' (NMO) opgericht zal worden. Een belangrijk element in een dergelijk NMO zal zijn om het verband te leggen tussen de wereldwijde situatie m.b.t. grondstoffen enerzijds en het publieke (waaronder het economische) belang voor Nederland anderzijds. Een dergelijk NMO kan vanzelfsprekend geen ketenonderzoek doen naar elke statistisch gedocumenteerde productgroep in de economie. In plaats daarvan zal het NMO de beschikking moeten hebben over methodologieën en data waar publieke belanghebbenden terecht kunnen als dat nodig is. Om met die methodes en data bij te kunnen dragen aan opstellen of uitvoering van nationaal beleid en/of het mitigeren van risico's.

Om een dergelijke taak te kunnen vervullen is het onvoldoende om slechts van publieke en daarmee meestal gratis toegankelijke databronnen gebruik te maken. In dit rapport hebben we gebruik gemaakt van niet-publieke, gelicentieerde data om ons analytisch vermogen voor de toeleveringsketen te verbeteren. Het gebruik van dergelijke niet-publieke gegevens is in de volgende gevallen gerechtvaardigd:

- Om mogelijke leveranciers te vinden in een crisissituatie.
- Een specifieke behoefte om een bepaald bedrijf te onderzoeken.
- Een specifiek te beoordelen leveringsrisico voor een (reeks) productgroepen.
- Een situatie die voor een sector beoordeeld moet worden.
- Het identificeren van concrete betrokkenen voor beleidsacties op lange termijn, zoals die gerelateerd aan industriële strategie-interventies.
- Ondersteuning voor continue monitoring van veranderingen in de aanbodrelaties

Voorbeelden van onderzoeksvragen die beantwoord kunnen worden door grondige ketenanalyses zijn weergegeven in bijlage 5.

Toekomstig onderzoek

Zoals aangegeven in de vorige paragraaf: ketenonderzoek (op basis van desk research, publieke data, niet-publieke data en directe relaties met industriële betrokkenen) zal een centrale rol innemen in de activiteiten van het NMO.

Mede daarom zal het NMO actief verkennen welke (publieke, maar met name ook niet-publieke, commerciële) databases bijdragen aan de monitoring- en risico-analysen die het NMO op zich zal nemen.

Op basis van de inzichten verkregen in deze studie (gerelateerd aan de toeleveringsketens op basis van germanium, vanadium en nikkel) zullen we onze methodieken verder ontwikkelen.

De methodologie in dit onderzoek maakte gebruik van trefwoorden die werden gebruikt om relevante transacties te identificeren. Deze methodologie zal worden aangevuld door de belangrijkste spelers te identificeren met behulp van bronnen zoals marktrapporten. Vervolgens kunnen voor deze spelers hun leveranciers-klantrelaties verkend worden. Dit zou veel licht kunnen werpen op transacties die niet boven water komen door alleen op trefwoorden te zoeken.

Voor kritieke grondstoffen die in relatief lage volumes op niet-transparante markten worden verhandeld (zoals germanium in dit onderzoek) zou het nuttig kunnen zijn om hun toeleveringsketens vanaf hun eindgebruik terug te volgen: bijvoorbeeld door analyses te starten vanuit het eindproduct (bijvoorbeeld: gereedschapsstaal) om vanaf daar de leveranciers van (in de in dit rapport beschreven case) vanadium te identificeren. Deze omgekeerde analyse zou ons kunnen helpen meer spelers in de toeleveringsketen te identificeren, maar vergt aanzienlijk onderzoek naar toepassingsgebieden en het handmatig filteren van gegevens.

Verder onderzoek moet worden uitgevoerd om de waargenomen discrepanties te analyseren tussen openbaar beschikbare datasets zoals Comtrade, BACI en gegevens van instanties als Eurostat voor geologische onderzoeken (zoals de British Geological Survey BGS en de Amerikaanse Geological Survey USGS). Dit zou tot duidelijkere inzichten in het fenomeen 'wederuitvoer' moeten leiden. Dat is met name nodig om de rol van in het bijzonder Nederland als handels- en doorvoerland te verduidelijken (zoals in de huidige studie voor nikkel werd waargenomen).

We zullen ook gebruik gaan maken van tijdreeksen in de hier genoemde datasets: naast het gebruik van datareeksen om potentiële data-inconsistenties op te sporen, kunnen dergelijke reeksen toekomstig onderzoek ook richten op belangrijke ontwikkelingen in opkomende of afnemende toeleveringsketens.

Last but not least zullen verdere materiaalgerelateerde deep dives worden uitgevoerd, vooral op andere grondstoffen die relevant worden geacht voor de Nederlandse samenleving, zoals magnesium en mangaan.

Op zoek naar synergie tussen NMO-onderzoek en het werk nationale en Europese collega's

De verantwoordelijke, omvangrijke en nog niet vastgelegde taak om mondiale toeleveringsketens in kaart te brengen, kan en mag niet door één enkele instelling worden uitgevoerd. Er is een dringende behoefte aan het definiëren van protocollen om dubbel werk

te voorkomen en het coördineren (indien mogelijk) van de toegang tot datasets die binnen één bepaalde organisatie zijn gecreëerd.

Voordelen van het coördineren van onderzoek

De abstracte term ‘synergetisch onderzoek’ kan concreet worden geïnterpreteerd. Bijvoorbeeld door de resultaten van eerdere onderzoeken te verifiëren, scripts te delen zoals die worden gebruikt voor zoekopdrachten, administratieve schaalvoordelen te creëren door toegangsrechten tot databases te bundelen en productclassificaties en onderzoeksdefinities te harmoniseren.

Belangrijke kennispartijen in binnen- en buitenland

Er is vanzelfsprekend behoefte aan het onderhouden en verder ontwikkelen van initiatieven met kennisinstellingen in Nederland, zoals het Centraal Bureau voor de Statistiek, de Milieudienst, denktanks als HCSS en universiteiten als de TU Delft en de Universiteit Leiden. Bestaande netwerken zijn kennelijk internationaal van aard, waarbij universiteiten binnen of buiten de EU nuttige mogelijkheden bieden voor synergetisch onderzoek.

Een aantal Europese landen zijn Nederland voorgegaan als het gaat om het opzetten van een nationaal instituut rond grondstoffschaarste. Het meest opvallend hier zijn DERA (Deutsche Rohstoffenagentur, Duitsland), OFREMI (Observatoire français des mineral resources pour les filièresindustrielles, Frankrijk), MiMa (Centrum voor Mineralen en Materialen, Denemarken) en UK CMIC (United Kingdom Critical Minerals Intelligence Centre, VK).. Deze zijn allemaal ondergebracht bij de Geologische Dienst van het betreffende land. Daarnaast overwegen België en Finland momenteel de oprichting van een nationale instelling.

Uit de gesprekken met DERA, OFREMI, MiMa en CMIC valt op dat het betrekken van het bedrijfsleven doorgaans veel werk en aandacht van de sterrenwacht vraagt. Er lijkt een duidelijke verdeeldheid te bestaan in de zakenwereld. Enerzijds het MKB, waar het onderwerp kritikaliteit en kwetsbaarheden in de keten niet of nauwelijks aan bod komt, of waar de personele capaciteit om te handelen (en contact te onderhouden met een observatorium) ontbreekt. Aan de andere kant de grote industriële partijen, waar analyse van de waardeketen een integraal onderdeel is van de bedrijfsvoering. Deze partijen aarzelen om een observatorium te benaderen vanwege de mogelijke impact op hun concurrentiepositie.

Er zijn twee eenheden van het Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek van de Europese Commissie die van bijzonder belang zijn. Ten eerste is er directoraat D: Duurzame Hulpbronnen, in het bijzonder Unit D.3 Land Resources and Supply Chain Assessments, gevestigd in Ispra, Italië. Verder is er directoraat C: Energie, Mobiliteit en Klimaat, Unit C.7: Energietransitie Inzichten voor Beleidsmakers, gevestigd in Petten, Nederland. Het werk van leden van deze directoraten/eenheden kan niet alleen dienen als voorbeeld voor daadwerkelijke analyse, maar illustreert ook de input die dit onderzoek kan hebben op beleidsvormingsprocessen.

Referenties

Szurlies, M., Schippers, A., Kuhn, T., & Duba, J. (2021). Rohstoffrisikobewertung - Nickel. DERA Rohstoffinformationen: Vol. 48. DERA.

Nickel Institute. (2021). First use of nickel. <https://nickelinstitute.org/en/about-nickel-and-its-applications/#04-first-use-nickel>

Zhang, F., Li, H., Chen, B. et al. Vanadium metabolism investigation using substance flow and scenario analysis. *Front. Environ. Sci. Eng.* 8, 256–266 (2014).
<https://doi.org/10.1007/s11783-013-0585-1>

Ścibior, A.; Pietrzyk, L.; Plewa, Z.; Skibad; A. (2020). “Vanadium: Risks and possible benefits in the light of a comprehensive overview of its pharmacotoxicological mechanisms and multi-applications with a summary of further research trends”, 61. doi: 10.1016/j.jtemb.2020.126508

Ciotola, A., Fuss, M., Colombo, S., & Poganietza, W.-R. (2021). The potential supply risk of vanadium for the renewable energy transition in Germany. *Journal of Energy Storage*, 33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2020.102094>

Online:

Businesskorea (2023)

https://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=200946#google_vignette

Chinadaily (2024) https://www.chinadaily.com.cn/bizchina/2013-06/18/content_16632951.htm

Koreajoongangdaily (2024)

<https://koreajoongangdaily.joins.com/2023/07/09/business/industry/Korea-Posco-Holdings-Posco-HY-Clean-Metal/20230709164641945.html>

NOS (2022) <https://nos.nl/artikel/2452457-indonesie-ziet-in-nikkel-kans-op-rijkdom-en-macht-maar-dat-heeft-een-prijs>

Reuters (2024) <https://www.reuters.com/markets/deals/indonesia-miner-aneka-tambang-sells-shares-subsidiaries-hong-kong-based-battery-2023-12-29/>

SCREEN (2024) <https://screen.eu/crms-2023/>

Stopexplosiveinvestments (2024) <https://stopexplosiveinvestments.org/disinvestment/red-flag-list-of-cluster-munition-producers/poongsan-south-korea/>

World Mining Data (2024) <https://www.world-mining-data.info/>

Bijlage 1 Overzicht van SRM's en CRM's

Tabel 1 Overzicht CRM's en SRM's volgens 2023-beoordeling van de EC

	kritiek	strategisch	specificatie SRM
Antimoon	X		
Arseen	X		
Aluminium/Bauxiet	X		
Bariet	X		
Beryllium	X		
Bismut	X	X	
Borium	X	X	metallurgische kwaliteit
Kobalt	X	X	
Cokeskolen	X		
Koper	X	X	
Veldspaat	X		
Vloeispaat	X		
Gallium	X	X	
Germanium	X	X	
Hafnium	X		
Helium	X		
Zware zeldzame aardelementen	X		
Lichte zeldzame aardelementen	X		
Zeldzame aardelementen voor magneten		X	Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm, Ce
Lithium	X	X	batterij kwaliteit
Magnesium	X	X	metaal
Mangaan	X	X	batterij kwaliteit
Natuurlijk grafiet	X	X	batterij kwaliteit
Nikkel – batterijkwaliteit	X	X	batterij kwaliteit
Niobium	X		
Fosfaat gesteente	X		
Fosfor	X		
Metalen uit de platinagroep	X	X	
Scandium	X		
Silicium metaal	X	X	

Strontium	X		
Tantaal	X		
Titanium metaal	X	X	
Wolfraam	X	X	
Vanadium	X		
TOTAAL	34	16	

Bijlage 2 First intermediates van een selectie van CRM's en SRM's

CRM/ SRM	code	verbinding	wereldwijde handel (= export of Import) (M\$)	Aandeel NL ex- port (%)	Deel NL import	import-ex- port (%)
V	282530	Vanadiumoxiden en hydroxiden	564	12,1	17,2	5,1
	262050	As of resten die voornamelijk vanadium bevat- ten	0	0	0	0
	720292	ferro-vanadium	1030	6,66	16,2	9,54
	811420	Vanadium	0	0	0	0
	2615	Niobium-, tantaal-, vanadium- en zirkonium- erts	1830	1,59	2,45	0,86
Ta	261590	Niobium-, tantaal- en vanadiumerts en - concentraten	527	0,094	0,28	0,186
	810330	Tantaal: afval en schroot	94,4	0,68	0,82	0,14
	810390	Tantaal en werken daarvan, nes	417	0,62	1,32	0,7
	810310	Tantaal onbewerkt, staven, staven eenvoudig gesinterd, schroot	623	0,43	0,29	-0,14
	810320	Tantaal: onbewerkt, inclusief staven en staven die eenvoudigweg zijn verkregen door sinte- ren, poeders	556	0,44	0,18	-0,26
	853221	Elektrische condensatoren, vast, tantaal, nes	2030	1,21	1,28	0,07
sr	283692	strontiumcarbonaat	79	0,36	0,76	0,4
	280522	strontium en barium	0	0	0	0
	281620	strontiumoxide, hydroxide en peroxide	0,46	0	0	0
	281640		53,9	0,37	0,94	0,57
	252890	Natuurlijke boraten etc., natuurlijk boorzuur (<85%)	404	1,64	1,34	-0,3

B	252800 252810	Natuurlijke boraten en concentraten daarvan (ook indien gebrand), met uitzondering van boraten gescheiden van natuurlijke pekkel: natuurlijk boorzuur dat niet meer dan 85 % H ₃ BO ₃ bevat, berekend op het droge gewicht	421	1,41	1,36	-0,05
	281000	booroxiden, boorzuur	538	1,77	3,47	1,7
	284030	Peroxoboraten (perboraten) van metalen	14,5	0,93	0,2	-0,73
	284020	boraten van metalen, met uitzondering van geraffineerde borax	157	2,22	3,6	1,38
	284019	Dinatriumtetraboraat (geraffineerde borax) gehydrateerd	855	0,51	0,87	0,36
	280450	boor, tellurium	353	0,35	0,2	-0,15
Zijn	811212	Beryllium en werken daarvan: ruw beryllium, poeders	8,76	0	0,054	0,054
	811213	Beryllium; afval en schroot	0,775	0,098	70,5	70.402
	811219	Beryllium, werken daarvan, nes	39	0,25	1,21	0,96
	811211	Beryllium, ruw, afval of schroot/poeders	9,62	0	5,73	5,73
Ba	251110	Barieten	615	6,87	7,42	0,55
Als	280480	arseen-	27,5	7,11	12,1	4,99
	281219	Arseentrichloride en andere chloriden en chlorideoxiden, vermeld in artikelnr. 2812	159	0,13	1,42	1,29
Zb	261710	antimoonertsen en -concentraten	265	0	1,5	1,5
	282580	Antimoonoxiden	736	0,54	2,13	1,59
	811010	Antimoon en werken daarvan: ruw antimoon, poeders	458	2,76	8,19	5,43
	811020	Antimoonafval en schroot	7,4	0,36	0	-0,36
	811000	Antimoon, werken daarvan, afval of schroot	472	1,79	7,59	5,8
	811090	Antimoon en werken daarvan, bewerkt, met uitzondering van resten of schroot	139	0,12	6,1	5,98
P	28910	difosforpentaoxide	64	3,18	16,3	13,12
	251000	calciumfosfaten (HS4)	4050	0,34	1,32	0,98
	251010	calciumfosfaten, ongemalen	2440	0,52	1,13	0,61
	251020	calciumfosfaten, gemalen	1610	0,065	1,61	1.545
	280290	Fosforzuur en polyfosforzuren	5940	2,98	5,21	2,23
	280470	fosfor	654	0,8	1,87	1,07
	281212	Fosforoxychloride	40,2	0,51	1,19	0,68
	281213	fosfortrichloride	95,4	0	0,06	0,06

P	281214	fosforpentachloride	1,21	0	0	0
	283510	Fosfinaten en fosfonaten	285	0,89	3,83	2,94
	283521	triammoniumfosfaat	0,03	0	0	0
	283522	mono- of dinatriumfosfaten	158	1,48	3,15	1,67
	283523	trinatrium fosfaat	0	0	0	0
	283524	kaliumfosfaten	444	1,91	5,27	3,36
	283525	Calciumwaterstoforthofosfaat	518	0,33	1,34	1,01
	283526	Calciumfosfaten behalve waterstoforthofosfaat	1500	3,25	6,09	2,84
	283529	fosfaten van metalen, nes	279	2,17	3,92	1,75
	283531	natriumtrifosfaat	539	1,11	1,89	0,78
P	283539	Polyfosfaten van metalen met uitzondering van natriumtrifosfaat	898	1,36	4,11	2,75
	284800	Fosfiden: al dan niet chemisch welbepaald, met uitzondering van ferrofosfor	1320	1,56	1,8	0,24
	284810	Fosfiden van koper met > 15% fosfor	0,046	0	0	0
	291910	Esters: fosforzuur en hun zouten, inclusief lactofosfaten, hun gehalogeneerde, gesulfoneerde, genitreeerde of nitrosoderivaten: tris(2,3-dibroompropyl)fosfaat	30,5	53,7	2,46	-51,24
	292010	Thiofosforzuuresters (fosforothioaten), zouten, derivaten	150	1,61	1,15	-0,46
	292320	Lecithinen en andere fosfoaminolipiden	1070	16,7	13,4	-3,3
	293131	Organo-anorganische verbindingen; organofosforderivaten, dimethylmethylfosfonaat	7,17	58,6	0,61	-57,99
	293132	Organo-anorganische verbindingen; organofosforderivaten, dimethylpropylfosfonaat	1,93	4,97	0	-4,97
	293133	Organo-anorganische verbindingen; organofosforderivaten, diethylethylfosfonaat	3,52	0	0	0
	310310	superfosfaten, in verpakkingen > 10kg	2350	1,71	1,95	0,24
310311	Meststoffen, mineraal of chemisch; fosfatisch, superfosfaten, gewicht >=35% van P2O5	1780	1,86	2,02	0,16	
310319	Meststoffen, mineraal of chemisch; fosfaat, superfosfaten, gewicht >= 35% van P2O5	639	1,87	1,43	-0,44	
310530	diammoniumfosfaat, in verpakkingen > 10kg	9410	0,056	0,29	0,234	
310540	Monoammoniumfosfaat & mengen met diammonium, <=10 kg	8980	0,095	0,39	0,295	
382491	(5-ethyl-2-methyl-2-oxido-1,3,2-dioxafosfinaan-5-yl)methylmethylfosfonaat en bis[(5-ethyl-2-methyl-2-oxido-1,3,2-dioxafosfinaan -5-yl)methyl]methylfosfonaat	252	9,56	3,98	-5,58	

	382483	Mengsels en preparaten die tris(2,3-dibroompropyl)fosfaat bevatten	26,4	0,45	1,03	0,58
	291990	Esters: fosforzuur en hun zouten, inclusief lactofosfaten, hun gehalogeneerde, gesulfoneerde, genitreeerde of nitrosoderivaten: met uitzondering van tris(2,3-dibroompropyl)fosfaat	1520	5,88	8,34	2,46
	310551	meststoffen met nitraten en fosfaten, neg, <10kg	550	4,32	0,79	-3,53
Nb	261590	Niobium-, tantaal- en vanadiumertsen en -concentraten	527	0,094	0,28	0,186
	720293	ferroniobium	3130	6,79	20,1	13,31
Ge Ga	811292	Gallium, germanium, hafnium, indium, niobium (columbium), renium en vanadium: werken daarvan, ruw, inclusief resten en afval, poeders	577	4,47	1,4	-3,07
	282560	Germaniumoxiden en zirkonumdioxide	450	5,85	8,39	2,54
	811230	Germanium, werken daarvan, afval of schroot/poeders	0,1	0	0	0
	811292	Gallium, germanium, hafnium, indium, niobium (columbium), renium en vanadium: werken daarvan, ruw, inclusief resten en afval, poeders	577	4,47	1,4	-3,07
REE	811299	Artikelen van zeldzame aardmetalen/metalen, nee	459	0,74	8,82	8,08
	811291	Zeldzame aardmetalen/metalen, ruw/afval of schroot	523	4,54	1,69	-2,85
	2846	zeldzame aardmetaalverbindingen	2710	0,74	0,64	-0,1
	280530	zeldzaam aardmetaal, yttrium, scandium	586	0,088	0,8	0,712
	284690	Verbindingen, mengsels van zeldzame aardmetalen, yttrium, scandium ne	2480	0,78	0,62	-0,16
F	252921	Vloeispaat, <97% calciumfluoride	397	2,92	3,07	0,15
	252922	Vloeispaat, >97% calciumfluoride	421	1,1	3,34	2,24
Veldspaat	252910	veldspaat	662	1,3	1,05	-0,25
	2603	kopererts	91100	0	0,021	0,021
	283325	kopersulfaten	1380	0,62	6,73	6,11
	741420	koper; doek van koperdraad	0,006	0	0	0
	740100	Kopermatten: cementkoper (neergeslagen koper)	1590	0,48	0,08	-0,4
	740323	Koper-nikkel, koper-nikkel-zinklegering, ruw	0	0	0	0
	7402	ruw koper	16100	0,5	0,95	0,45

Cu	740220	cement koper	0	0	0	0
	7408	koperdraad	27500	0,068	1,14	1,072
	7411	koperen buizen	10000	0,4	1,52	1,12
	7404	schroot koper	33000	4,39	1,6	-2,79
	7410	koper folie	9180	1,63	0,19	-1,44
	7405	koperlegeringen	413	20	0,45	-19,55
	7407	koperen staven	7190	0,59	2,18	1,59
	740400	Afval of schroot van koper/koperlegeringen	33000	4,39	1,6	-2,79
	7406	koper poeder	1650	0,14	0,27	0,13
	7409	koperen beplating	11000	1,68	3,22	1,54
	7403	verfijnd koper	91700	1,03	1,53	0,5
	740110	koperen matten	1610	0,67	0,096	-0,574
	741600	koperen veren	0	0	0	0
	7415	koperen bevestigingsmiddelen	1430	1,68	1,67	-0,01
	7401	neergeslagen koper	1610	0,67	0,096	-0,574
	7413	koperen huishoudelijke artikelen	922	1,86	3,04	1,18
	740822	Draad, koper-nikkel- of koper-nikkel-zinklegering	142	0	0	0
7412	koperen pijpfittingen	6410	1,69	3,43	1,74	
Pt	711100	Metalen, bekleed met platina, halffabricaat	802	0,059	0,4	0,341
	711019	platina in halffabricaten	8900	0,027	0,21	0,183
	711011	Platina onbewerkt of in poedervorm	9910	0,04	0,16	0,12
	710629	Zilver halffabricaat inclusief goud/platinum plat	6600	0,01	0,33	0,32
	711510	Katalysatoren (vorm van draaddoek of rooster) van platina	1170	0,1	4,77	4,67
	711220	Afval/schroot dat platina als enige kostbare meta bevat	0,509	0	0	0
	711292	Resten en afval van edele metalen: van platina, inclusief metaal bekleed met platina, maar met uitzondering van veeggoed dat andere edele metalen bevat	18500	0,69	0,29	-0,4
Pd	711029	Palladium in halffabricaten	7820	0,2	0,11	-0,09
	711021	Palladium onbewerkt of in poedervorm		0,55	0,48	-0,07
Rh	711031	Rhodium onbewerkt of in poedervorm	31300	0,14	0,057	-0,083
	711039	Rhodium in halffabricaten	1680	0,01	0,19	0,18

Ir Os Ru	711049	Iridium, osmium en ruthenium, halffabricaat	451	0,01	0,39	0,38
	711041	Iridium, osmium en ruthenium onbewerkt of poeder voor	2340	0,06	0,28	0,22
	810890	Titanium, artikelen daarvan, nes	3490	1,26	1,21	-0,05
Ti	810820	Titanium: onbewerkt, poeders	824	1,07	2,22	1,15
	810830	Titanium: afval en schroot	246	0,98	1,72	0,74
	810810	Titanium, ruw, afval of schroot	1010	1,08	2,57	1,49
	280461	Silicium, >99,99% zuiver	4640	0,16	0,028	-0,132
Si	280469	Silicium, <99,99% zuiver	4660	5,39	7,64	2,25
	250410	Natuurlijk grafiet in poeder of vlokken	580			0
Grafiet	250490	Natuurlijk grafiet, behalve poeder of vlokken	83,8	0,16	1,13	0,97
	261100	wolframertsen en -concentraten	217	0,9	7,9	7
W	720280	ferrowolfram en ferrosilicowolfram	157	10,2	30,4	20,2
	8101	wolfram	1240	0	1,56	1,56
	810196	wolfram (draad)	114	1,35	0,47	-0,88
	810193	draad, wolfram	111	1,28	0,43	-0,85
	810110	poeders, wolfram	237	0,25	1,32	1,07
	853921	gloeilampen, wolframhalogeen	1511	0	2,67	2,67
	810197	wolfram; afval en schroot	392	0	1,3	1,3
	810600	Bismut, werken daarvan, afval of schroot	152	3,32	7,74	4,42
Bi	260500	Kobaltertzen en concentraten	48,7	0,56	0,72	0,16
	282200	Kobaltoxiden en -hydroxiden; commerciële kobaltoxiden	215	5,6	9,1	3,5
	810520	Kobalt; matte en andere tussenproducten van de kobaltmetallurgie, ruw kobalt, poeders	1511	11,3	10,6	-0,7
	810530	Kobalt; afval en schroot	89	3,6	3,2	-0,4
	810590	Kobalt; artikelen neg in rubrieknr. 8105	314	1,7	1,16	-0,54
	260200	Mangaanertzen en -concentraten, inclusief ijzerhoudende mangaanertzen en concentraten met een mangaangehalte van 20% of meer, berekend op het droge gewicht	2079,972596	0,563035	0,699624	0,136589
	282010	Mangaandioxide	132.5171704	0,579457	0,315674	-0,26378
	282090	Mangaanoxiden; exclusief mangaandioxide	68.95473821	9,862825	21,19987	11,33704

Mn	284161	Zouten; van oxometaal- of peroxometaalzuren, manganieten, mangaanaten en permanganaten, kaliumpermanganaat	19.52478275	6,631217	7,091246	0,46003
	720211	Ferro-legeringen; ferromangaan, bevattende meer dan 2 gewichtspersent koolstof	891.9417833	9,33915	5,471245	-3,8679
	720219	Ferro-legeringen; ferromangaan, bevattende 2 gewichtspersenten of minder koolstof	766.9301971	12,57949	11,38683	-1,19266
	720230	Ferro-legeringen; ferro-silico-mangaan	2185,896449	3,203521	6,261261	3,05774
	722820	Staal, legering; staven en staven, van silico-mangaanstaal	128.6220472	0,050869	0,029156	-0,02171
	722920	Staal, legering; draad, van silico-mangaanstaal	384.1385714	3,353215	0,394073	-2,95914
	811100	Mangaan; voorwerpen daarvan, inclusief afval en schroot	1152,344669	15,3402	12,6583	-2,68189
	850610	Cellen en batterijen; primair, mangaandioxide	1729,444305	6,976791	5,162162	-1,81463
mgr	251910	Magnesiumcarbonaat (magnesiet); natuurlijk	98	1,75	4,26	2,51
	251990	Magnesia, gesmolten of doodgebrand (gesinterd); met of zonder kleine hoeveelheden andere oxiden die vóór het sinteren zijn toegevoegd, ander magnesiumoxide, ook indien zuiver, (geen natuurlijk magnesiumcarbonaat)	2270	6,23	6,74	0,51
	253020	Kieseriet, epsomiet (natuurlijke magnesiumsulfaten)	160	0,58	1,97	1,39
	281610	Hydroxide en peroxide van magnesium	212	13,9	1,48	-12,42
	282731	Chloriden; magnesium-	182	11,1	0,86	-10,24
	283321	Sulfaten; magnesium-	423	0,86	5,49	4,63
	810411	Magnesium; onbewerkt, bevattende ten minste 99,8 gewichtspersent magnesium	1080	2,24	2,69	0,45
	810419	Magnesium; onbewerkt, bevattende minder dan 99,8 gewichtspersent magnesium	528	2,23	0,71	-1,52
Li	810420	Magnesium; afval en schroot	110	2,16	5,5	3,34
	810430	Magnesium; raspen, draaisels en korrels, gesorteerd op grootte, poeders	389	2,59	15,6	13,01
	283691	lithiumcarbonaat	1470	3,41	0,74	-2,67
	282520	Lithiumoxide en hydroxide	1200	2,83	1,18	-1,65
	850760	Elektrische accu's: lithium-ion, inclusief scheidings, al dan niet rechthoekig (inclusief vierkant)	63000	0,65	2,44	1,79
	850650	Cellen en batterijen: primair, lithium	3230	3,47	3,96	0,49
	260400	nikkel erts	4240	0,32	0	-0,32

Ni	282540	Nikkeloxiden en hydroxiden	186	8,08	1,54	-6,54
	282735	Nikkelchloride	58,6	0	16,7	16,7
	283324	Nikkelsulfaten	980	0	0,46	0,46
	720260	Ferro-nikkel	12000	1,7	1,75	0,05
	740323	Koper-nikkel, koper-nikkel-zinklegering, ruw				0
	740722	Staaaf, staaaf, profielen, koper-nikkel, koper-nikkel-zink	7,1	0	0	0
	740822	Draad, koper-nikkel- of koper-nikkel-zinklegering	142	1,6	1,31	-0,29
	750110	Staven, staven en profielen, nikkel, niet gelegeerd	45,6	4,01	4,18	0,17
	750120	Nikkeloxide-sinters, tussenproducten van nikkel ne	3340	0,036		-0,036
	750200	ruw nikkel	17300	5,04	9,64	4,6
	750210	Nikkel onbewerkt, niet gelegeerd	16400	5,19	10	4,81
	750220	Nikkel ruw, gelegeerd	922	2,32	2,86	0,54
	750300	schroot nikkel	871	2,1	3,63	1,53
	7504	nikkel poeder	1900	1,52	1,14	-0,38
	750521	draad, nikkel, niet gelegeerd	75,6	1,8	0,73	-1,07
	750522	draad, nikkellegering	1020	1,03	0,57	-0,46
	750712	Buizen en pijpen, nikkellegering				0
	750720	Fittingen, pijp en buis, nikkel	178	1,9	2,87	0,97
	750890	Nikkel: artikelen daarvan, neg in artikelnr. 7508.1	2010	3,46	2,7	-0,76
	850730	Nikkel-cadmium elektrische accu's	756	1,62	1,98	0,36
850740	Nikkel-ijzer elektrische accu's	90,1	1,7	0,27	-1,43	

Bijlage 3 Methodologie voor het beoordelen van knelpunten in toeleveringsketens

Nadat inzicht is verkregen op de specifieke grondstoffen en componenten die van belang zijn in de productie van een bepaald type product, is de volgende stap om een kwantitatief beeld te genereren van de mate van kwetsbaarheden in de keten van het onderzochte product. Voor dat doel wordt voornamelijk gebruik gemaakt van de Comtrade-databank ⁶⁰als bron. Dit is een dataset van de VN, die internationale handel beschrijft. Alle import- en exportstromen zijn per land op GS/GN 6-cijferig niveau beschreven, voor lange tijdreeksen die al beginnen in de 20^e eeuw ⁶¹.

Handelsgegevens laten een sterk vertekend beeld zien van bronlanden en dus van mogelijke knelpunten in de leveringsketen. Tegelijk is voor vrijwel alle materialen en componenten die onder Comtrade worden behandeld **geen onafhankelijke databron over productie en productielocaties beschikbaar**.

Om op basis van de Comtrade-data toch een beeld te schatten en te schetsen van de oorsprong van producten (en dus de mogelijkheden voor diversificatie in beeld te brengen) hebben we op basis van handelsdata over import en export een benadering gemaakt voor wereldwijde productie per land. Deze benadering is gebaseerd op het **vergelijken van import en export** in een bepaalde productgroep, door voor zichtbare substanties (kg, stuks etc.) te kijken welke landen een **exportoverschot** hebben (vaak: hoeveelheid export – hoeveelheid import >0). Voor die landen wordt geaccepteerd dat ze een nationale productie hebben.

Voor die productgroepen waarvoor onafhankelijke bronnen beschikbaar zijn (zoals bijvoorbeeld mijnbouwgegevens, of sectorrapporten over specifieke producten) is deze aanpak gevalideerd. Ondanks het feit dat dit validatieaantoont dat deze methode waardevolle (en onzichtbaar niet toegankelijk) informatie oplevert, zijn enkele systemische fouten op deze wijze geïntroduceerd:

- **Om de invloed van uitwisselingen, transactiekosten en speculatie te vermijden is vooraf gekozen om de fysieke data als uitgangspunt te nemen. Tegelijk levert dat monetaire**

⁶⁰De VN-databank dient als een uitgebreide opslagplaats van gegevens van meerdere VN-agentschappen. Het behandelt een breed scala aan onderwerpen, waaronder gezondheid, onderwijs, armoede, klimaatverandering en mensenrechten. Deze statistieken worden gebruikt voor wereldwijde monitoring van de Sustainable Development Goals (SDG's) en leveren bewijs voor beleidsformulering en -evaluatie.

⁶¹De data voor productie per land van de VN (UNIDO) is notoir onbetrouwbaar, bijvoorbeeld door de afwezigheid van China. Comtrade beschrijft wel de handelsrelaties met China

data in enkele gevallen worden gebruikt om de fysieke data te valideren en op die manier belangrijke productielanden te identificeren. Fysieke gegevens zijn immers niet altijd goed geregistreerd, terwijl monetaire gegevens het hart vormen van elke handelsregistratie. Een aandachtspunt blijft datakwaliteit en het ontbreken van sommige landen in de significantestatistiek, iets dat op termijn kan worden opgelost door een slimme combinatie te maken van monetaire en robuuste data.

- De methode zorgt ervoor dat kleine producenten onder de radar verdwijnen. In situaties dat kleine producenten op lokale schaal worden “overvleugeld” door een grote importstroom wordt deze productie niet geregistreerd in onze interpretatie. **Dit leidt tot een hogere indicator voor productieconcentratie dan in werkelijkheid het geval is.**
- Omdat het vaak ontbreekt aan ruwe gegevens over de handel van en naar Taiwan, zijn deze gegevens wel beschikbaar aan China. Daarmee heeft China schijnbaar een grotere productie in de door ons bewerkte dataset (NB: dit geldt ook voor handel van en naar “overig Azië”).
- **Binnenlands gebruik wordt niet geregistreerd** door het gebruik van handelsdata. Op het moment dat een land als China van de VS de nationale mijnbouw binnenlands verwerkt, valt deze buiten de door ons gekozen methode. In specifieke gevallen (met naam in de mijnbouw) kan dit verschil worden versterkt door de werkelijke productiecijfers (bijvoorbeeld afkomstig van de US Geological Survey) als uitgangspunt te nemen. Juist de vergelijking van deze onafhankelijke bron met de handelsgegevens uit Comtrade geeft dan inzicht in het bestaan van een gelijktijdige verwerking van de betreffende grondstof. Tegelijk kan worden gesteld dat door de focus juist wordt gelegd op wat internationaal wordt overwogen de mogelijkheden voor diversificatie beter aan het licht te komen. Immers, indien een grondstof binnenlands wordt ingezet in een productieketen zal dit vaak voorkomen op basis van nabijheid, diepe ketenintegratie, nauwe en betrouwbare contacten en misschien overheidsbemoeienis. Tijdelijke stromen zullen dan ook niet snel beschikbaar komen: gegevens over totaalaanbod van grondstoffen of halffabricaten kunnen daarmee een mogelijke beeld schetsen van de vrije beschikbaarheid van soortgelijke productgroepen.

Uit de beschreven analyse van Comtrade-gegevens (en enkele andere onafhankelijke databronnen) volg dus gegevens over de oorsprong van grondstoffen, materialen en producten op landniveau. In de te ontwikkelen methodiek zijn we op zoek naar kwetsbaarheden in leveringsketens: analoog aan de systematiek die eerder (door de EC en door TNO in 2015) wordt ingezet om de kritiekaliteit van grondstoffen vast te stellen, wordt hier mechanisch **dat het risico op leveringsproblemen groter wordt invloedrijke de concentratie van bronlanden groter wordt en de kwaliteit van bestuur in die landen (bestuursvorm, corruptie, rechtsstatelijkheid, etc.) open en eerlijke vrijhandel belemmert.** Op basis van die uitgangspunten worden twee analyses uitgevoerd:

- i. **Bepaling van de Herfindahl-Hirschmann-index, de HHI, een algemeen bekende mate voor productieconcentratie.** De HHI wordt bepaald door de som van de kwadraten van de productieconcentratie. Een score boven de 2500 bevatte op een duidelijke concentratie. Het theoretisch maximale (perfecte monopolie) HHI is 10.000.
- ii. **Bepaling van de gewogen gemiddelde World Governance Index (WGI)** ⁶²per product-groep. Deze wordt berekend op basis van de WGI-score van een bepaald land te vermenigvuldigen met het aandeel van dat land in de productie van het betreffende materiaal of product. De som van alle bijdragen levert de 'gemiddelde WGI' voor een

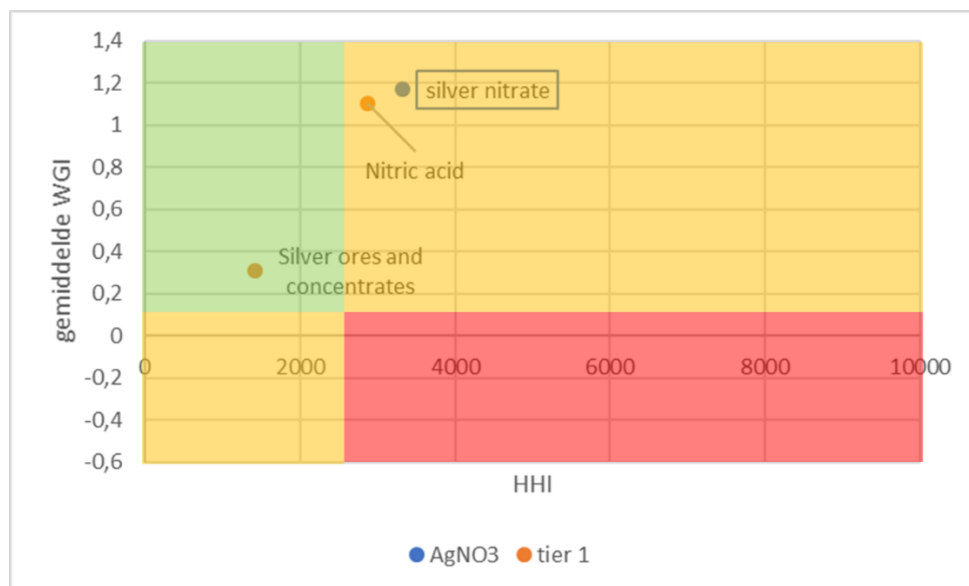
⁶² Zie voor nadere uitleg over de World Governance Index: <https://www.worldbank.org/en/publication/worldwide-governance-indicators>

specifiek materiaal. De WGI-scores per land bestaan uit -2,5 voor de slechtst zuinigste landen tot +2,5 voor de best zuinigste landen.

Er is geen harde grens aan te geven voor een 'goede' of een 'slechte' WGI-score. Om een indicatie te geven in de 'bottleneck-analyse' hanteren we de WGI-score van Bulgarije, het minst bruikbare EU-land, met een WGI-score van 0,13.

Door voor elke productgroep en voor de producten in de leveringsketen de HHI tegen de gemiddelde WGI uit het ontstaan van een beeld van de grootste knelpunten. Een groot knelpunt is een product met een hoge HHI (met naam een **HHI groter dan 2.500**) en een lage WGI (**met naam lager dan 0,13**). Een 'veilig' gebiedskenmerkt zich dan door een lagere HHI en een betere (lees hogere) WGI-score. Dit wordt geïllustreerd in onderstaande Figuur 1, waarin het voorbeeld van zilvernitraat wordt genomen.

Uit de analyse blijkt vervolgens of zich in de leveringsketen van een specifieke productgroep (in het geval van de Figuur 1 zilvernitraat) materialen of componenten bevinden zich in een ongunstiger profiel dan de productgroep in kwestie. In dat geval kan sprake zijn van een potentieel knelpunt 'upstream' in de leveringsketen.



Figuur 1: casestudie resultaat dat HHI ("marktconcentratie") en WGI ("kwaliteit van bestuur") van voor casestudie relevante productgroepen illustreert

Bijlage 4: introductie van Factset: Methodologie en geleerde lessen

Factset-database

Voor dit project hebben we gegevens uit FactSet Supply Chain Relationships (FSSCR) gebruikt. Deze dataset brengt 3 verschillende soorten relaties tussen entiteiten in kaart: leverancier-klant, partner en concurrent. In ons onderzoek hebben we vooral gebruik gemaakt van de leverancier-klantrelaties. Deze kunnen zowel door de leverancier als door de klant worden gerapporteerd.

FactSet verkrijgt zijn supply chain-gegevens “ uit vertrouwde primaire bronnen”. Hoewel niet duidelijk wordt welke bronnen dit zijn, zijn hun financiële gegevens verkregen van “ “8-Ks, Business Wire, PRNewswire, Stock Exchanges, company websites, and other news sources”⁶³ en het is waarschijnlijk dat gegevens over de toeleveringsketen op soortgelijke wijze worden verkregen. Dit betekent dat gegevens vooral beschikbaar zijn voor beursgenoteerde bedrijven, waardoor er een bias ontstaat. Als weerspiegeling van het publieke karakter van veel van de gegevens die FactSet verkrijgt, konden we online bronnen vinden voor 64% (117/184) van de leverancier-klantrelaties waarmee we in ons nikkelonderzoek werkten.

Waarom FactSet

De beslissing om FSSCR te gebruiken is genomen op basis van het gebruik ervan in verschillende onderzoeksprojecten buiten TNO. Het technisch rapport van het JRC uit 2022 “ *The position of the EU in the semiconductor value chain: evidence on trade, foreign acquisitions, and ownership*”⁶⁴ gebruikt FSSCR om leveranciers-klantrelaties te analyseren voor bedrijven die elektronische componenten produceren. Deze gegevens worden gebruikt om te identificeren waar leveranciers van EU-producenten gevestigd zijn, en welke landen belangrijke schakels bieden in de waardeketen van halfgeleiders.

De dataset wordt ook gebruikt om de effecten van blootstelling aan het fysieke klimaat op de prestaties van bedrijven te onderzoeken in een artikel van Pankratz en Schiller (2023)⁶⁵. De auteurs kunnen de gegevens uit de toeleveringsketen gebruiken om te bepalen dat blootstelling aan hitte en overstromingen de beslissingen van klanten beïnvloeden over welke bedrijven ze als leveranciers kiezen.

Dekking van FactSet

⁶³ Informatie uit de FactSet begeleidende informatie

⁶⁴ CIANI Andrea, NARDO Michela, Joint Research Centre, JRC129035, 5 April 2022

⁶⁵ Nora M C Pankratz, Christoph M Schiller, “Climate Change and Adaptation in Global Supply-Chain Networks”, *The Review of Financial Studies*, Volume 37, Issue 6, June 2024, Pages 1729–1777, <https://doi.org/10.1093/rfs/hhad093>

FSSCR bestrijkt 31.600 entiteiten; onderstaande tabel toont de geografische spreiding van de dekking van de gegevens.

Regio	Aantal entiteiten
Afrika	500
Azië	16.500
Europa	5.500
Latijns Amerika	600
Midden-Oosten	1.000
Noord Amerika	6.500
grote Oceaan	1.000

Om de dekking van FSSCR te testen, hebben we getest of de dataset de belangrijkste entiteiten bevatte die betrokken zijn bij de productie of het gebruik van 4 kritieke grondstoffen (CRM's): germanium, vanadium, antimoon en nikkel. We hebben marktrapporten gebruikt om een lijst met de belangrijkste entiteiten per CRM te genereren en te controleren of deze entiteiten in FSSCR waren opgenomen. De volgende tabel toont onze resultaten.

Kritieke grondstof	# entiteiten volgens marktrapporten	% entiteiten in FSCRR	% entiteiten in FSCRR met meer dan één relatie
Germanium	36	81%	58%
Vanadium	23	90%	83%
Antimoon	22	76%	68%
Nikkel	23	100%	96%

Het is belangrijk op te merken dat sommige niet gedekte entiteiten belangrijke producenten zijn; dit komt vaker voor wanneer deze producenten in China zijn gevestigd en waar het materiaal lagere productievolumes heeft, zoals voor germanium of antimoon. Uit deze test concluderen we voorlopig dat de dekking van FSSCR waarschijnlijk voldoende is voor materialen met grotere volumes.

Methodologie met behulp van FactSet

We beschrijven nu de methodologie die we hebben gebruikt om ons supply chain-onderzoek voor germanium, nikkel en ferro-vanadium uit te voeren. De volgende stappen werden gevolgd:

1. **Zoeken in databases:** We zijn begonnen met het doorzoeken van de FactSet-database naar leveranciers-klantrelaties met behulp van relevante trefwoorden voor elk van de materialen; deze trefwoorden zijn gevonden door onderzoek te doen naar de mijnbouw,

productie en toepassingen van elk materiaal. Voor nikkel zijn voorbeelden van dergelijke termen "nikkel", "roestvrij staal" en "NiMH".

2. **Transacties analyseren:** voor elke transactie hebben we informatie uit FactSet, zoals bedrijfsinformatie en transactietrefwoorden, gecombineerd met het handmatig online zoeken naar transacties om:
 - a. **Identificeer het product** : We hebben het specifieke product bepaald dat bij elke transactie betrokken is. In het geval van nikkel betekent dit bijvoorbeeld dat er onderscheid moet worden gemaakt tussen onbewerkt nikkelerts, bewerkt erts en roestvrij staal.
 - b. **Beoordeel de relevantie van transacties** : we evalueerden of elke transactie rechtstreeks verband hield met de toeleveringsketen. Deze stap heeft ons geholpen niet-gerelateerde transacties, zoals investeringen of onderzoekssamenwerkingen, uit te sluiten. Met name in het geval van nikkel bleek een substantieel aantal transacties van onbewerkt of verwerkt nikkelerts ($132/316 = 42\%$) niet relevant te zijn voor onze analyse van de toeleveringsketen.

De resultaten van dit proces zijn gebruikt in de visualisaties die in dit rapport worden gepresenteerd over de relaties tussen leverancier en klant, waardoor een duidelijker beeld ontstaat van de toeleveringsketens voor de materialen die we bestudeerden. Houd er rekening mee dat onze zoekopdracht de transacties niet op datum heeft beperkt. Vanwege de tijdsintensiteit van dit proces konden we het niet voor de hele toeleveringsketen van elk materiaal uitvoeren. In plaats daarvan concentreerden we ons op het begin van de supply chain: transacties van het onbewerkte of verwerkte materiaal zelf.

Stapsgewijs hebben wij de volgende stappen gevolgd in onze analyses:

1. Zoek in de database naar leveranciers-klanten op basis van trefwoord: bijvoorbeeld nikkel, roestvrij staal, germanium, etc. we gebruikten transacties van elke datum.
2. Doorloop handmatig de resulterende transacties om:
 - a. Bepaal wat er wordt verkocht (in het geval van nikkel: onbewerkt erts, verwerkt erts, roestvrij staal, enz.).
 - b. Stel de relevantie van de transactie vast (bijvoorbeeld geen investeringen, onderzoekssamenwerking, enz.). (leek in eerste instantie onnodig, maar voor nikkel bleken 132/316 transacties van onbewerkt of bewerkt erts niet relevant). Dit was tijdrovend, waardoor we ons niet konden concentreren op de hele supply chain.
3. Teken de resulterende transacties.

Evaluatie van de inzet van niet-publieke databases voor de analyse van de nikkeltoeleveringsketen

In deze studie hebben we een niet-publieke database (FactSet) ingezet. Dit heeft gedetailleerde inzichten opgeleverd in veel transacties die relevant zijn voor de nikkeltoeleveringsketen en in de complexiteit van dergelijke ketens. Deze basisgegevens vereisen altijd nog verdere desk research en interpretatie.

De netwerken die hier getoond zijn, zijn gegenereerd na een individuele beoordeling van elke transactie met variaties op trefwoorden zoals: nikkel, roestvrij, oplaadbare batterij, plating, Inconel, Monel, Hastelloy, Incoloy, NiMH, enzovoort. Deze lijst met trefwoorden leidde tot 3141 transacties, wat teruggebracht werd tot 1921 transacties na het handmatig filteren van niet-relevante vermeldingen; Zo waren er bijvoorbeeld 181 transacties waarbij de televisie-zender Nickelodeon betrokken was. En een transactie met 'Zamac en Nikkel' als trefwoorden betrof in werkelijkheid een transactie tussen een staalproducent en een producent van hang- en sluitwerk.

De zoekwoorden "roestvrij staal" leveren bijvoorbeeld 719 resultaten op. Hoewel sommige hiervan voor roestvrij staal zelf bedoeld zijn, hebben veel betrekking op producten zoals "roestvrijstalen buizen" of "roestvrijstalen tanks"; duidelijk verschillende delen van de toeleveringsketen ten opzichte van de legering zelf.

Zodra nikkel in een product of onderdeel is verwerkt, zijn deze transacties moeilijker te vinden, maar door te kijken naar de transacties van bedrijven die zich bezighouden met nikkelerts kan een inschatting worden gemaakt van hoe de toeleveringsketen van nikkel eruit ziet.

Deze voorbeelden benadrukken dat handmatig werk nodig is om gegevens uit dergelijke hoogwaardige databronnen te filteren. In deze verkenning hebben we daarom beoordeeld welke transacties betrekking hadden op nikkelerts of verwerkt nikkel en ons op die transacties gericht. Dat dit handmatige werk echter tot interessante inzichten kan leiden, blijkt uit voorgaande paragrafen.

Voor een alomvattende mapping zou het nodig zijn de gegevens te doorzoeken via trefwoorden en via bedrijven die actief zijn in de nikkeltoeleveringsketen. En er zal altijd afzonderlijke desk research nodig zijn om de gegevens uit datasets als Factset aan te vullen. Norilsk Nickel, een van de grootste producenten van nikkel ter wereld, wordt bijvoorbeeld in slechts 15 transacties als leverancier vermeld, waarvan de meeste niet voor nikkel zijn bestemd. Vale, dat de grootste hoeveelheid nikkel produceert, is in slechts 22 transacties leverancier. Glencore, eveneens in de top 5, heeft slechts 9 transacties in FactSet. Omdat een van de transacties van Norilsk Nickel echter 'batterijmaterialen' wordt genoemd, is het waarschijnlijk nuttig om niet volledig op trefwoorden te vertrouwen om transacties binnen de toeleveringsketen te vinden. Door te focussen op grote spelers binnen de toeleveringsketen kunnen we het meeste uit de data halen. Dit zal het onderwerp zijn van verder en toekomstig onderzoek.

Evaluatie van FactSet

FactSet is een handig hulpmiddel voor het identificeren van spelers in mondiale toeleveringsketens. Het is vrijwel onmogelijk om te weten welke informatie FactSet mist of hoe nauwkeurig de gegevens zijn.

Sommige aspecten zijn het overwegen waard bij het gebruik van databases zoals Factset:

- Wat het nut betreft, bevatten niet alle transacties in FactSet informatie over het volume of de waarde van het verkochte goed. Dit betekent dat we in ons onderzoek de materiaalstromen niet konden kwantificeren.
- De dekking van niet-beursgenoteerde bedrijven is niet zo uitgebreid vertegenwoordigd in de database, waardoor de dataset zich richt op beursgenoteerde bedrijven en dus op bepaalde regio's in de wereld. Daarom zijn gegevens met betrekking tot kritieke grondstoffen in landen als Rusland en China, waar dergelijke informatie niet zo direct beschikbaar is, minder volledig.
- Voor kritieke grondstoffen die worden verhandeld op niet-transparante markten en vrij lage volumes zoals germanium zijn de gegevensbeperkingen duidelijker, zowel vanwege de locatie van de grondstoffen die worden ingekocht als de potentieel kleinere omvang van de betrokken bedrijven.
- De trefwoorden in deze databases zijn niet gestandaardiseerd (of ontbreken), waardoor het handmatig filteren van de leveranciers-klanttransacties noodzakelijk is om de relevantie ervan te valideren.

- Bedrijven die bij de transacties betrokken zijn, zijn niet altijd gemakkelijk online vindbaar, wat een uitdaging is voor validatiedoelinden.

Ondanks deze uitdagingen biedt FactSet duidelijke voordelen voor supply chain-onderzoek. Een van de opmerkelijke voordelen is de mogelijkheid om het eigendom van goederen te volgen, wat een ander perspectief biedt dan traditionele import-/exportgegevens die zich richten op geografische locatie. Verschillende aspecten van de nikkeltoeleveringsketen in Indonesië zijn bijvoorbeeld eigendom van of worden beheerd door buitenlandse bedrijven. Hoewel een import-/exportperspectief nuttig is omdat de locatie van een goed (grotendeels) bepaalt welke regelgeving er invloed op heeft, is een eigendomspectief ook essentieel vanuit een strategisch autonomieperspectief.

Bijlage 5: Voorbeelden van onderzoeksvragen die beantwoord kunnen worden door ketenanalyse

Zonder uitputtend te zijn is in deze bijlage een aantal (onderzoeks)vragen opgenomen die ingaan op de complexe wisselwerking tussen economische schaalniveaus, bedrijven, transacties en de gevolgen van (geopolitieke) monopolies binnen supply chain management. Als zodanig zouden dergelijke vragen onderwerp kunnen zijn van activiteiten en rapportages van het Nederlands MaterialenObservatorium zoals dat in de loop van 2024 zal worden opgezet.

- Welke Europese bedrijven betrekken hun grondstoffen uit de mijnbouw-, verwerkings- of raffinagefasen?
- Welke bedrijven zijn betrokken bij leveringsfase X?
- Van hoeveel verschillende bedrijven is bekend dat ze aan een specifiek bedrijf leveren?
- Wat weten we van een specifiek bedrijf dat in het nieuws is gekomen?
- Hoeveel stappen vinden er plaats tussen supply chain fase X en supply chain fase Y?
- Kunnen we monopolistische praktijken identificeren die van invloed zijn op transacties binnen de toeleveringsketen, bijvoorbeeld door volatiele prijspraktijken of simpelweg door een sterk geconcentreerd aanbod?
- Kunnen we, in termen van het aantal ondernemingen, jaar na jaar waarnemen hoe de dynamiek tussen bedrijven op verschillende niveaus van de toeleveringsketen verandert?
- Kunnen we verticale integratie en consolidatie identificeren, en kan dit bijdragen aan monopolistische tendensen binnen de toeleveringsketen of deze tegengaan?
- Kunnen we een verband leggen tussen financiële regelgeving en antitrustwetten en het aantal of de vestigingsplaats van ondernemingen?
- Kunnen we digitale platforms en door technologie ondersteunde marktplaatsen identificeren om te zien welke rol ze spelen bij het vormgeven van de transactionele dynamiek?
- Hoe beïnvloeden verstoringen van de toeleveringsketen, zoals natuurrampen of geopolitieke gebeurtenissen, de concentratie van marktmacht?
- Wat zijn de effecten van eisen om te rapporteren over duurzaamheidspraktijken en ethische overwegingen op transacties tussen grote spelers in iconische grondstoffen-toeleveringsketens?
- Kunnen we op eenvoudige wijze relevante verschuivingen in consumentenvoorkeuren en -eisen identificeren, beïnvloed door de inflatie van de grondstoffenprijzen?

ICT, Strategy & Policy

Anna van Buerenplein 1
2595 DA Den Haag
www.tno.nl