



Circular Critical Raw Materials (CCRM)

Een nationale innovatieagenda kritieke grondstoffen

Maak Nederland onafhankelijker door innovatie en opbouw van eigen verwerkingscapaciteit voor kritieke grondstoffen



COLOFON

Deze Nationale Innovatieagenda Kritieke Grondstoffen van het samenwerkingsverband Circular Critical Raw Materials (CCRM) is op initiatief van ChemistryNL (topsector Chemie) en het MaterialenNL Platform tot stand gekomen op basis van de bijdragen uit het Nederlandse bedrijfsleven en de onderzoekswereld.

Kernteam

Conceptontwikkeling en regie van de innovatieagenda waren in handen van een kernteam bestaande uit Jasper van Zon (Nyrstar), Coert van Lare (Nobian), Albert Janssen (Shell), Franz Bormann (M2i), Luc Kikkert (TNO), René Kleijn (Leiden University), Chris Slootweg (Universiteit van Amsterdam), René Tamboer (TU Delft), Yannic Wevers (VNCl) en Xandra Weinbeck (Invest-NL).

Productie

Tekstproductie: Remco Hoogma (Dwarsverband)

Vormgeving: Koduijn ontwerpers

Afzender

ChemistryNL

Postbus 93138, 2509 AL Den Haag

info@chemistrynl.com

www.chemistrynl.com

Uitgave

November 2024

Circular Critical Raw Materials (CCRM)

Een nationale innovatieagenda kritieke grondstoffen

Opmerking voor de lezer: dikgedrukte woorden in de tekst verwijzen in de digitale versie met hyperlinks naar bronreferenties.

Inhoudsopgave

VOORWOORD	4
1. BELANG VOOR NEDERLAND VAN INNOVATIE EN PRODUCTIE VAN KRITIEKE GRONDSTOFFEN	8
2. INNOVATIEAGENDA VOOR KRITIEKE GRONDSTOFFEN	16
2.1 Samenwerkingsverband	16
2.2 Projectvoorstellen	16
2.3 Cluster 1: Duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland	17
2.4 Cluster 2: Remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen	19
2.5 Cluster 3: Terugwinning van specifieke kritieke grondstoffen	20
2.6 Cluster 4: Ondersteunende kennisprojecten	22
2.7 Behoefte aan ondersteuning door overheid	23
3. INVESTEREN IN EEN GOEDE POSITIE VAN DE NEDERLANDSE INDUSTRIE IN EUROPA	26
ANNEX: PROJECTEN VOOR CIRCULAIRE KRITIEKE GRONDSTOFFEN	29

Voorwoord

In augustus 2023 is de nationale kennisagenda strategische autonomie voor grondstoffen opgeleverd.¹ Deze kennisagenda is een initiatief van ChemistryNL (topsector Chemie) en het MaterialenNL Platform, waarbinnen de topsectoren Chemie, High Tech Systemen & Materialen en Energie gezamenlijk optrekken. Op basis van deze kennisagenda is daarna de voorbereiding gestart van een projectvoorstel voor de vierde ronde van het Nationaal Groeifonds met de werktitel Circular Critical Raw Materials. Een breed samenwerkingsverband van bedrijven, kennisinstellingen en sectororganisaties werkte aan de uitwerking van het voorstel met coördinatie vanuit MaterialenNL en ChemistryNL, met ondersteuning van VNCI, ISPT, M2i, Invest.nl, NWO, TNO en in samenwerking met de (toenmalige) ministeries van Economische Zaken en Klimaat, Infrastructuur en Waterstaat, Defensie en Buitenlandse Zaken.

Het samenwerkingsverband *Circular Critical Raw Materials (CCRM)* vraagt aandacht voor het belang van betrouwbare beschikbaarheid van kritieke grondstoffen voor de Nederlandse economie, en wil door onderzoek en projectontwikkeling bijdragen aan onze strategische autonomie voor deze grondstoffen.

Zo is op 16 oktober een kennisontbijt georganiseerd voor Tweede Kamerleden en andere belangstellenden, waar de boodschap is overgebracht dat we als Nederland nu lef moeten tonen om het toekomstig verdienvermogen van Nederland veilig te stellen. Landen buiten, maar vooral ook binnen de Europese Unie zetten al grote stappen en investeren sterk in realisatie van productieketens voor kritieke grondstoffen. Om op lange termijn economisch op het gebied van IT, cleantech en defensie een rol te spelen is het van groot belang dat we nu handelen. Immers, de posities in de toeleverketen worden nu ingenomen.

Een inventarisatieronde door het samenwerkingsverband CCRM heeft een 20-tal projectideeën opgeleverd die variëren in mate van concreetheid en uitwerking. Omdat het consortium het waardevolle voorwerk voor de Groeifondsaanvraag niet verloren wilde laten gaan, is de gedachte opgekomen om de projectideeën uit te werken in een innovatieagenda om het gevormde netwerk en kennisbasis voort te zetten. Het ministerie van Economische Zaken en ChemistryNL stelden hiervoor budget ter beschikking.

Deze innovatieagenda licht de relevantie van het vraagstuk en de verzamelde CCRM-projecten toe. We zien vier clusters van projecten:

- rond duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland;
- rond remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen;
- voor (terug)winning van specifieke kritieke grondstoffen uit verschillende primaire en secundaire stromen (erts en slak, afvalwater, de urban mine);
- en een cluster met ondersteunende kennisprojecten.

1. MaterialenNL Platform en ChemistryNL (2023), **MaterialenNL: Strategic Autonomy. Kennisagenda strategische autonomie voor grondstoffen**, augustus.

De gedachte is om per cluster eerst een *demonstrator* als centraal fysiek project te ontwikkelen als proeve van kunnen en als startpunt van opschaling. Het demonstratieproject maakt de realisatie van andere projecten mogelijk en trekt deze mee doordat nieuwe technologie en faciliteiten voor recycling, extractie, raffinage en logistiek ter beschikking komen.

Wij vragen van het kabinet om strategische autonomie voor kritieke grondstoffen te ondersteunen met beleid én co-financiering, en bieden daarvoor deze innovatieagenda aan als bouwsteen. Innovatie is namelijk essentieel voor het vergroten van strategische autonomie voor (kritieke) grondstoffen en ruimte te maken in nieuwe en bestaande regelingen voor ondersteuning van circulaire kritieke grondstoffen, en voor de in deze agenda beschreven demonstrators.

Ik wens u veel leesplezier.

Jacqueline Vaessen

Boegbeeld *ChemistryNL* en *Circular Critical Raw Materials*



H1

Hoofdstuk 1

Belang voor Nederland van innovatie en productie van kritieke grondstoffen

De politieke en maatschappelijke spanningen in de wereld zijn groot. De wereldeconomie, de nationale veiligheid en internationale orde worden bedreigd. Dit werkt ook door in de beschikbaarheid van grondstoffen voor de Nederlandse industrie. Op veel grondstoffen die nodig zijn voor het maken van hightech-apparatuur (zoals gallium en koper voor halfgeleiders), voor groene energievoorziening (zoals lithium en kobalt voor energieopslag in batterijen en neodymium en dysprosium voor permanente magneten in generatoren van windturbines) en voor defensie-uitrusting (zoals germanium voor infraroodkijkers), heeft een kleine groep landen een monopolie. Nederland is voor veel kritieke en strategische grondstoffen afhankelijk van buitenlandse mogelijkheden, die dit als geopolitiek drukmiddel kunnen gebruiken.²

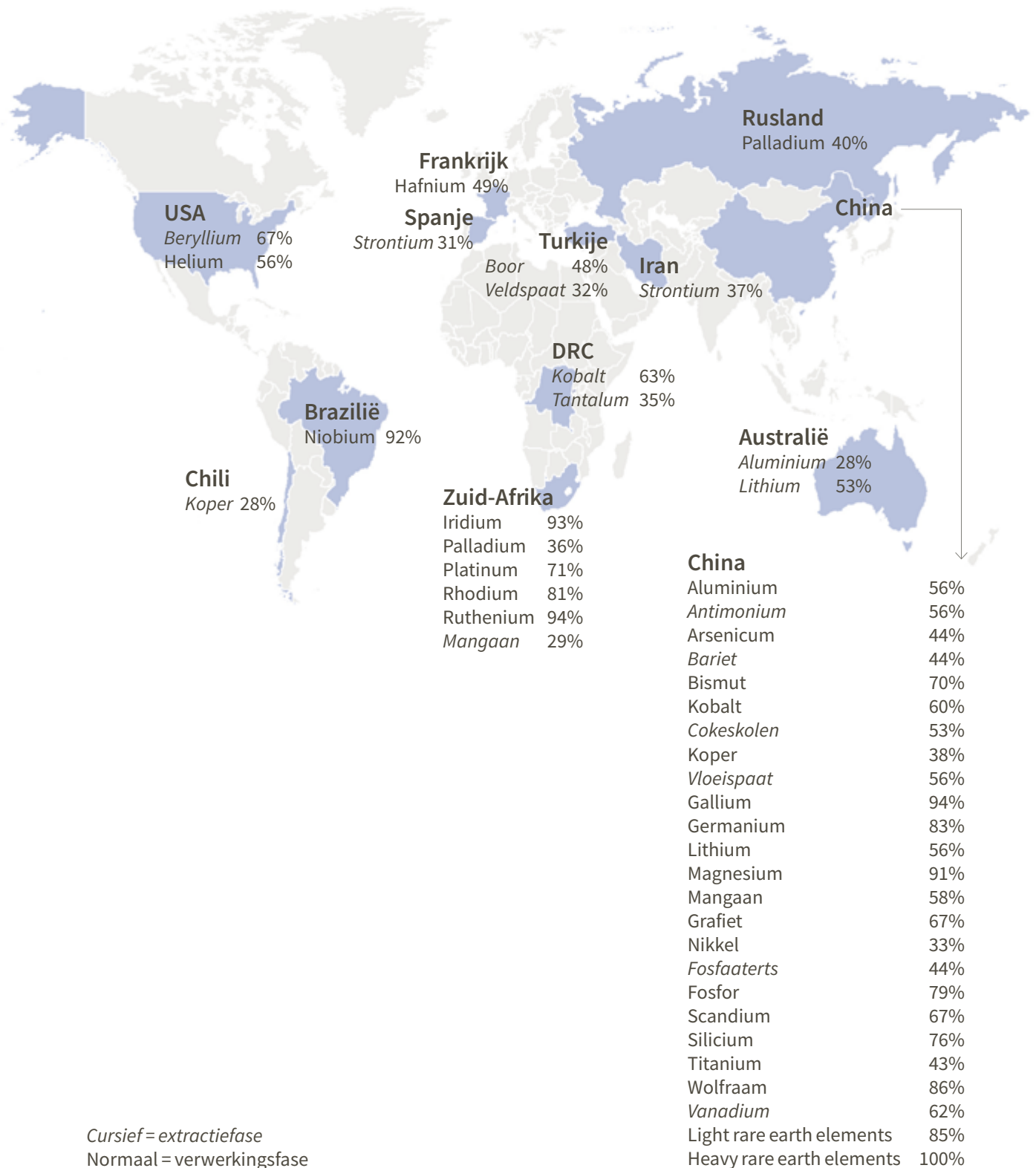
EU-beleid kritieke grondstoffen

Als onderdeel van de Europese Green Deal heeft de EU een verordening over kritieke grondstoffen aangenomen: de Critical Raw Materials Act (CRMA).³ Kritieke grondstoffen zijn cruciaal voor onze economie, er zijn weinig alternatieven voor en het risico is groot dat de aanvoer ervan stopt. De CRMA onderscheidt ongeveer 30 van zulke grondstoffen, waaronder veel zeldzame metalen. Strategische grondstoffen zijn belangrijk voor groene groei, digitalisering, en voor sectoren zoals ruimtevaart en defensie. Het doel van CRMA is om Europa minder afhankelijk te maken van import van kritieke en strategische grondstoffen door lokale winning, raffinage en hergebruik te stimuleren. Afbeelding 1 laat zien hoe de vindplaatsen en raffinage van kritieke grondstoffen zijn geconcentreerd in een beperkt aantal landen, en vooral buiten Europa.

Weerbaarheid vergroten

Nederland moet alert zijn en adequate voorbereidingen treffen om de weerbaarheid van de economie en samenleving te versterken.⁴ Juist als het gaat om grondstoffen. We moeten ons inspannen om minder afhankelijk te worden van importen uit landen waarmee geopolitieke spanningen kunnen ontstaan. Enerzijds door leveringszekerheid te vergroten door strategische ketensamenwerking met betrouwbare partnerlanden, door het aanleggen van strategische voorraden van kritieke grondstoffen in Nederland, en de circulariteit van kritieke grondstoffen in Nederland te verhogen. Dit maakt ons land minder kwetsbaar voor verstoringen van de wereldhandel die naast de productie in de maakindustrie ook de vitale infrastructuur voor energie, communicatie en transport kunnen bedreigen.

-
2. Vorig jaar stelde China exportrestricties in voor **germanium en gallium** (grondstoffen voor chips) en voor **grafiet** (voor batterijen). Dit was volgens China nodig voor de nationale veiligheid en belangenbescherming.
 3. **Verordening (EU) 2024/1252** van het Europees Parlement en de Raad van 11 april 2024 tot vaststelling van een kader om een veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen te waarborgen.
 4. Nederland is vier plaatsen gedaald op de **IMD World Competitiveness Ranking 2024**. Vorig jaar stonden we nog op plaats 5 en nu op plaats 9. De laagste plaats voor Nederland sinds 2016.



Afbeelding 1: Herkomst van kritieke grondstoffen. Cursief gedrukt: aandeel van betreffend land in de wereldwijde extractie van de grondstof. Normaal gedrukt: aandeel van betreffend land in de wereldwijde verwerking. Bron: Europese Commissie. Bron: **Europese Commissie 2023**.

Innoveren en investeren voor kritieke grondstoffen

Anderzijds moeten we investeren in eigen productie- en verwerkingscapaciteit en innovatie om kritieke grondstoffen op nieuwe manieren te hergebruiken, te delven, terug te winnen uit gerecyclede materiaalstromen, of deze te vervangen door minder schaarse materialen (substitutie). Deze noodzaak werd ook vastgesteld in de kamerbrief Grondstoffenvoorzieningszekerheid: *“Terwijl innovaties voor de terugwinning van kritieke grondstoffen veelbelovend zijn, moeten er meer demonstratieprojecten uitgevoerd worden in een industriële omgeving. Terugwinningstechnologieën zijn vaak nog niet voldoende operationeel en schaalbaar, waardoor de business case nog niet altijd rendabel is. Het onderzoek geeft daarbij aan dat om deze technologieën verder te brengen kapitaalinvesteringen nodig zijn, naast het versterken van de (inter)nationale afzetmarkt voor secundaire kritieke grondstoffen.”*⁵

Dit biedt niet alleen kansen om de industrie en economie minder afhankelijk te maken van kritieke grondstoffen, maar ook om meer en nieuwe bedrijvigheid te ontwikkelen die zakelijke kansen biedt en bijdraagt aan economische groei en werkgelegenheid. Nederland kan hier zijn kennis, kunde en infrastructuur voor chemische processen, hightech-producten, handel, logistiek en recycling voor benutten.⁶ Ook bestaande technieken voor het behoud van kritieke grondstoffen uit recycling kunnen verder geoptimaliseerd en gestimuleerd worden voor gebruik in de Nederlandse en Europese economie. Belangrijk aandachtspunt is dat bijna alle projecten (veel) energie zullen vragen, en deze industriële activiteiten geven spanning met de omgeving.

Vier clusters van projecten voor circulaire kritieke grondstoffen

- **Winnen van grondstoffen:** De Nederlandse bodem bevat helaas minder kritieke grondstoffen dan andere (Europese) landen.⁷ Wel vindt al van oudsher grootschalige zoutwinning plaats. Lithiumzout zit in vrij lage concentraties in de Nederlandse bodem in bijvoorbeeld geothermische bronnen, in productiewater dat vrijkomt bij olie- en gaswinning, of komt beschikbaar via recycling. Vanuit zoutwinning bekende en nog te ontwikkelen technieken zijn nodig om het geothermisch lithiumzout economisch te winnen en op te werken naar een grondstof voor batterijen. Een eigen lithiumproces maakt de Nederlandse batterijenwaardeketen minder afhankelijk van importen. Ook is er in Nederland productie van primair staal, zink en enkele andere metalen. Als onderdeel van de zinkproductie komen waardevolle materialen mee met de zinkconcentraten van mijnen buiten Europa. Zo kan het kritieke mineraal germanium gewonnen worden uit grondstoffen die in Nederland al verwerkt worden.

5. Kamerbrief 32852, **Grondstoffenvoorzieningszekerheid**, van de Minister van Economische Zaken, 9 september 2024.

6. Zie **MaterialenNL: Strategic Autonomy. Kennisagenda strategische autonomie voor grondstoffen** (aug. 2023).

7. Als er meer behoefte komt aan winning en extractie van kritieke grondstoffen in Europa, dan mogen de processen en toegepaste hulpchemicaliën geen milieu- en gezondheidsproblemen of conflicten over landgebruik veroorzaken. Nederland kan bijdragen aan het ontwikkelen van nieuwe technologie om (elders in Europa) energiezuinig, met onschadelijke chemicaliën en zonder afvalstromen mijnbouw te plegen. Bestaande installaties zouden ook aangepast kunnen worden om huidige afval- en reststromen op een verantwoorde manier te verwerken en verwaarden.

- **Substitutie van kritieke grondstoffen:** De industrie kan ook minder afhankelijk worden van kritieke grondstoffen door over te stappen op andere grondstoffen voor haar producten. Dit klinkt gemakkelijker dan het is omdat deze grondstoffen juist gekozen worden vanwege uitzonderlijke eigenschappen zoals geleiding, magnetisme, sterkte, temperatuurbestendigheid e.d. Door producten en productieprocessen anders te ontwerpen kunnen andere eisen aan de materialen worden gesteld. Ook toepassing van minder van dezelfde kritieke grondstoffen, met behoud van de kwaliteit van hoogwaardige producten, is een stap in de goede richting.
- **Terugwinning uit materialen en producten:** Kritieke grondstoffen zitten vaak verwerkt in complexe materialen, componenten en producten waardoor eenvoudige recycling niet volstaat. Ook zitten kritieke grondstoffen verborgen in bijproductstromen uit productieprocessen en uit mijnbouw in andere landen. Er zijn vaak innovatieve chemische processen nodig om deze grondstoffen uit de reststromen en ingezamelde producten terug te winnen. Nederlandse bedrijven willen zich specialiseren in verzameling en extractie uit deze materiaalstromen om de eigen en Europese industrie te voorzien van kritieke grondstoffen uit de “eigen urban mine”. Op de korte termijn kunnen enkele kritieke grondstoffen zoals koper en nikkel al teruggewonnen worden via de verwerking van schroot, staalslakken (en in de toekomst elektrische vlamboogovenslakken) en e-waste (afval van elektronica). Slakken uit staalproductie bevatten bijvoorbeeld vanadium, dat met aanvullende processtappen teruggewonnen kan worden. Momenteel worden schroot en e-waste nog geëxporteerd.
- **Kennisondersteunende projecten:** Om de hiervoor beschreven opties succesvol toe te passen is breed verspreide kennis nodig over waar in de Nederlandse economie de kritieke grondstoffen zich bevinden, waar ze gewonnen of teruggewonnen kunnen worden, hoe en waar dit mogelijk is, wie aanbod heeft en wie vraag, en hoe organisaties bewogen kunnen worden om kringlopen te sluiten. Hulpmiddelen hiervoor zijn product- en materialenpaspoorten die track & trace vergemakkelijken, en digitale infrastructuur voor het beheren van kritieke grondstoffen in de economie. Ook is nodig dat de in de beschreven projecten opgedane kennis over de te ontwikkelen technieken en pilots wordt opgenomen in onderwijsprogramma’s voor studenten en werkenden.

Nederland als hub voor kritieke grondstoffen

Door op deze onderwerpen te innoveren en investeren kan Nederland een ‘hub’ in Europa worden voor bedrijvigheid rondom kritieke grondstoffen en voor strategische voorraadbeheer. De ligging in Noordwest-Europa, de goede transportinfrastructuur (waaronder een wereldhaven en directe toegang tot leidende regionale markten, met name Duitsland), de aanwezigheid van bestaande materiaalstromen van erts en schroot en van een capabele industrie die ervaring heeft met verwerking van dergelijke materiaalstromen geven ons land en in het bijzonder de havenclusters een uitstekende uitgangspositie. Afbeelding 2 illustreert deze bedrijvigheid. Deze lijst, een momentopname in 2023, is niet uitputtend en groeit gestaag.

Bedrijven met hoofdkantoor in Nederland | In Nederland actieve bedrijven



Afbeelding 2. Activiteiten van Nederlandse bedrijven in leveringsketens van metalen en mineralen.
Bron: The Hague Centre of Strategic Studies (HCSS, 2023). Opmerking: Deze lijst is niet uitputtend. De bedrijven zijn ingedeeld volgens hun activiteiten in Nederland, maar kunnen elders in andere sectoren actief zijn.

Dit zorgt ook voor een goede onderhandelingspositie in Europa: als Nederland op dit terrein iets te bieden heeft wordt de samenwerking met andere landen gemakkelijker. De EU heeft ambitie en voert regelgeving in om de Europese industrie te versterken en onafhankelijker te maken van China en andere landen. Nederland gaat achterlopen ten opzichte van andere Europese landen als we niks doen. Samenwerking zal nodig zijn: het brede spectrum van kritieke grondstoffen en de variëteit van industrieën die deze grondstoffen nodig hebben kan niet door een enkel Europees land bestreken worden. Hiervoor kunnen we voortbouwen op onder meer de zeer sterk ontwikkelde en nauw vertakte waardeketen en onderzoekssamenwerking met onze buurlanden op het gebied van essentiële (non-ferro) metalen.



H2

Hoofdstuk 2

Innovatieagenda voor kritieke grondstoffen

2.1 SAMENWERKINGSVERBAND

Eerst stellen we het samenwerkingsverband Circular Critical Raw Materials voor. De volgende partijen hebben meegedacht en hebben projectideeën ingediend voor aanvankelijk een Groeifondsvoorstel en daarna deze innovatieagenda. Dit is gedaan met coördinatie vanuit MaterialenNL en ChemistryNL, met ondersteuning van VNCI, ISPT, M2i, Invest.nl, NWO, TNO en in samenwerking met de (toenmalige) ministeries van Economische Zaken en Klimaat, Infrastructuur en Waterstaat, Defensie en Buitenlandse Zaken.

- Bedrijven: (nog aanvullen) Nobian, Nyrstar, Shell, Tata Steel, ButterBridge, Botanickel
- Instituten en universiteiten: TU Delft, Universiteit van Amsterdam, Universiteit Leiden, Universiteit Twente, Wageningen UR, TNO

2.2 PROJECTVOORSTELLEN

In meerdere rondes zijn projectvoorstellen ingezameld. We zien vier clusters:

- rond duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland,
- rond remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen,
- voor (terug)winning van specifieke kritieke grondstoffen uit verschillende primaire en secundaire stromen (erts en slak, industrieel en huishoudelijk afvalwater, de urban mine),⁸
- en een cluster met ondersteunende kennisprojecten.

De gedachte is om per cluster allereerst (tenminste) een *demonstrator* als centraal fysiek project te ontwikkelen als proeve van kunnen en als startpunt van opschaling. Een dergelijk demonstratieproject maakt de verwezenlijking van weer andere projecten mogelijk en trekt deze mee doordat nieuwe technologie en faciliteiten voor recycling, extractie, raffinage en logistiek ter beschikking komen. De voorgestelde projecten zijn getoetst aan de quickscan-methode DICE, die projecten beoordeelt op grond van kans van slagen (zie tabel 1).

Projecten met een score tussen 7 en 14 hebben een grote kans van slagen. Met een score tussen 14 en 17 is eerst verdere projectontwikkeling nodig. Met een score boven 17 is de kans van slagen klein.

8. Urban Mining haalt grondstoffen die nodig zijn voor het produceren van onze producten niet uit de grond of de natuur, maar uit de 'stad' (Urban): uit afgedankte producten, al dan niet specifiek voor hergebruik ingezameld.

Duur	Hoe lang duurt realisatie van het project? (1 tot 4 jaar)	1 jaar = 1, 4 jaar = 4	Score 1 tot 4
Integriteit	Is er een capabele trekker voor het project? Is er een team beschikbaar en is dat gemotiveerd? Is er een team dat dedicated of voor minstens 50% van de tijd aan het project werkt?	Ja = 1, nee = 4, half = 2,5 Ja = 1, nee = 4, half = 2,5 Ja = 1, nee = 4, half = 2,5	Gemiddelde van deze 3 scores, 1 tot 4, telt dubbel
Commitment 1	Zijn alle partners gecommitteerd door middel van contracten? Is alle co-financiering geregeld?	Ja = 1, nee = 4, half = 2 Ja = 1, nee = 4, half = 3	Gemiddelde van deze 2 scores, 1 tot 4, telt dubbel
Commitment 2	Zijn de organisaties gedreven om dit project te doen slagen? Zijn stakeholders bereidwillig en enthousiast?	Ja = 1, nee = 4, half = 2,5 Ja = 1, nee = 4, half = 2,5	Gemiddelde van deze 2 scores, 1 tot 4
Effort	Hoeveel extra capaciteit hebben de betrokken organisaties nodig om het project te laten slagen?	>10% = 1, 10-20% = 2, 30%-40% = 3, >40% = 4	Score 1 tot 4
DICE-score			Som: 7 tot 28

Tabel 1: DICE quickscan scoringsmethodiek voor kansrijkheid van projecten.

Hierna stellen we deze demonstrators voor, en benoemen per cluster ook de andere projectvoorstellen kort. In de annex worden deze projecten nader toegelicht.

2.3 CLUSTER 1: DUURZAME WINNING VAN KRITIEKE GRONDSTOFFEN IN NEDERLAND

De Nederlandse bodem bevat minder kritieke grondstoffen dan andere (Europese) landen. Naast gas- en oliewinning betreft mijnbouw in Nederland sinds het sluiten van de kolenmijnen alleen zoutwinning (tafel- en vacuümzout, magnesiumzouten). Nieuwe kansen zijn er voor lithium, een cruciale grondstof voor de groeiende markt voor batterijen. Lithiumproductie vindt momenteel plaats in landen als China, Chili en Australië. De vraag stijgt sneller dan het aanbod en er is grote concurrentie om leveringscontracten. Een eigen lithiumproces maakt de Nederlandse (en Europese) batterijenwaardeketen minder afhankelijk van importen.

Samen met inspanningen om voldoende geconcentreerde lithiumbronnen te vinden en het winnen van het lithiumzout uit die of andere bronnen (zoals recycling), zal de nieuwe, efficiëntere en schonere omzetting naar lithiumhydroxide een nieuwe waardeketen rondom lithium in Nederland mogelijk maken, die als vliegwiel kan dienen voor de batterijindustrie in Nederland en Europa.

Lithiumwinning en -verwerking in Nederland

Lithium zit in vrij lage concentraties in de Nederlandse bodem in bijvoorbeeld geothermische bronnen of productiewater van olie- en gaswinning. TNO neemt op zich om de beste vindplaatsen in kaart te brengen. Vanuit zoutwinning bekende en nog te ontwikkelen technieken zijn nodig om dit lithiumzout te winnen. Het gewonnen (of op termijn gerecyclede) lithiumzout moet vervolgens worden omgezet naar een vorm die bruikbaar is in batterijen. Chemiebedrijf Nobian heeft een uniek proces ontworpen om op een economische wijze lithiumchloride uit een geothermische brijn (ondergrondse zoutoplossing) of een andere bron (zoals recycling) om te zetten naar hoogzuiver lithiumhydroxide voor batterijen. Eerste experimenten op laboratoriumschaal zijn uitgevoerd en het proces dient verder te worden ontwikkeld en opgeschaald, eerst in een pilotinstallatie en vervolgens in een grotere proeffabriek. De kosten voor de pilotinstallatie bedragen ca € 2 miljoen en voor de proeffabriek € 22 miljoen. *DICE-score: 17 voor winning uit geothermische bron; 16 voor lithiumraffinage*



Afbeelding 3: Elektrolyserhal (links) in de Rotterdamse chloor-alkali-fabriek van Nobian (rechts). Elektrolyse is een van de sleuteltechnologieën waarmee een nieuw raffinageproces voor battery-grade lithium wordt ingericht. Bron: Nobian.

Andere projectvoorstellen in dit cluster betreffen:

- **Winning van kritieke metalen door planten:** Sommige planten nemen geconcentreerd metalen zoals nikkel, zink of cadmium op als ze groeien op een bodem die hier rijk aan is. De metalen kunnen na oogsten van de planten worden gewonnen. Wageningen universiteit en de startup firma Botanickel ontwikkelen deze werkwijze, die phytomining of ook wel ‘metal farming’ wordt genoemd. Geschikte bodems zijn niet in Nederland maar wel elders in Europa te vinden. *DICE-score: 9.*

- **Germanium winning uit zinkertsen:** Zink is een ‘carrier metal’ voor diverse zeldzame metalen zoals germanium, antimoon, bismut, tin en mangaan. Dat wil zeggen dat zinkertsen vaak ook deze zeldzame metalen bevatten. Producent van mineralen en metalen Nyrstar wil zijn zinksmelter in Budel uitbreiden met een Metal Recovery Facility om in eerste instantie germaniumconcentraat uit huidige grondstoffen en in een later stadium de germaniumfractie uit secundaire bronnen te winnen.⁹ *DICE-score: 13,75.*
- **Winning van zeldzame aardmetalen uit fosfaat:** Universiteit Twente ITC wil de mogelijkheden verkennen om ‘rare earth elements’ (REE) te winnen als bijproduct uit geïmporteerde fosfaat (voor kunstmest) en/of fosfaatrijke ijzerertsen. *DICE-score: n.b.*
- **Acceptatie van mijnbouw:** Universiteit Twente wil onderzoek doen naar hoe actieve “betrokkenheid bij de omgeving” en transparante communicatie kan zorgen voor sociale acceptatie van mijnbouwoperaties in Nederland. *DICE-score: 16.*

2.4 CLUSTER 2: REMANUFACTURING EN SUBSTITUTIE VAN KRITIEKE GRONDSTOFFEN

Door producten en productieprocessen anders te ontwerpen kan de behoefte aan kritieke grondstoffen verminderen. Producten kunnen worden ontworpen met het oog op langere levensduur zoals door betere repareerbaarheid of door modulair ontwerp met onderdelen die bij mankementen eenvoudig vervangen kunnen worden in plaats van dat de hele machine vervangen moet worden. Ook kan worden ingezet op gebruik van andere niet-kritieke materialen. Dergelijke substitutie is alleen kansrijk als dit niet ten koste gaat van de prestaties of functionaliteit van de vervangen grondstof.

Remanufacturing voor kapitaalgoederen

Bij remanufacturing wordt een gebruikt product teruggebracht naar minimaal zijn aanvankelijke prestatie, met gelijke of betere garantievoorwaarden dan bij een nieuw product. Het gaat om het herstellen, reviseren, upgraden en hergebruiken van gebruikte onderdelen en systemen, eventueel in combinatie met nieuwe. Deze bij uitstek circulaire strategie vermindert de vraag naar kritieke grondstoffen omdat door de levensduurverlenging de grondstoffen in de gebruiksfase beter worden benut, en er tevens ruimte is voor substitutie door alternatieve grondstoffen. In het project Remanufacturing voor kapitaalgoederen wordt deze strategie van remanufacturing (of herfabricatie) toegepast op hightechsystemen in de Nederlandse maakindustrie, van chipmachines van ASML tot uiteenlopende machines van Nederlandse MKB-bedrijven. De bedrijven gaan samen met kennisinstellingen concrete generieke knelpunten oplossen van implementatie van circulaire bedrijfsactiviteiten. Gezamenlijk worden Open standaarden, werkinstructies en procedures afgesproken om remanufacturing te verankeren in de bedrijfsvoering en productieketen (cyclus), met name binnen de bestaande digitale infrastructuur. Ook wordt een Remanufacturing pilotlijn opgezet die dient als “test before invest” omgeving voor bedrijven die vragen hebben over implementatie van remanufacturing in hun fabricageprocessen. *DICE-score: 11.*

9. Nyrstar heeft dit project als Strategic Project onder de CRMA ingediend bij de Europese Commissie (zie paragraaf 2.7).

Andere projectvoorstellen in dit cluster betreffen:

- **Alternatief voor roestvast staal en gereedschapsmaterialen:** Roestvaste staalsoorten bevatten schaarse elementen zoals nikkel en chroom. Het zeer harde wolfram is essentieel voor het maken van metalen onderdelen van gereedschappen. Philips Personal Care wil samen met partners alternatieve materialen ontwikkelen met een kwaliteit gelijk of beter dan het huidige materiaal. Het project zal ook gebruik maken van digitale modellen om processen en producten te optimaliseren en te voorspellen (Digital Twinning, onderdeel van Industry 4.0). *DICE-score: 13,75.*
- **Remanufacturing van hightech producten:** Dit project beoogt het verbeteren van beschikbaarheid van kritieke grondstoffen door herfabricage, substitutie en recycling van producten volledig tot stand te brengen bij bedrijven in de sectoren maritiem, lucht- en ruimtevaart, batterijen, bouw en materialenrecycling. Het doel is om producten en componenten en de hierin gebruikte kritieke grondstoffen langer in gebruik te houden, en de vervanging en recycling van die materialen te vergroten. *DICE-score: 11.*
- **Substitutie van kritieke grondstoffen - SustInno:** Een groep bedrijven wil samen met TU Delft en UvA vervangende materialen ontwikkelen voor de gebieden lucht- en ruimtevaart, automobielenindustrie, chemie, elektrolyse, medische toepassingen en recycling. Deze materialen moeten de afhankelijkheid van nu toegepaste kritieke grondstoffen verminderen en duurzaam, circulair en kostenconcurrerend zijn. Er wordt gekeken naar nieuwe materialen zoals nieuwe legeringen, composieten en afval, nieuwe katalysatoren, geavanceerde productie (3D-geprinte implantaten), recycling- (bijv. solvothermische) methoden en levenscyclusanalyses. *DICE-score: 14.*
- **Substitutie ondersteunen met Safe and Sustainable by Design (SSbD):** SSbD is een aanpak die bedrijven helpt om vroeg in het ontwikkelproces de mogelijke effecten van chemicaliën, materialen, producten en processen op mensen en de leefomgeving in kaart te brengen. TNO en UvA willen samen met bedrijven deze aanpak gebruiken en aanscherpen om nieuwe materialen te helpen ontwikkelen waarin kritieke grondstoffen gedeeltelijk of geheel vervangen worden door andere stoffen. *DICE-score: 17.*
- **Substitutie en reductie ondersteunen met Artificial Intelligence (AI):** Een ander projectvoorstel richt zich op het ontwikkelen van software die gebruikmaakt van AI-algoritmen en data uit gedane experimenten met materialen en kwantummechanische berekeningen. Deze software maakt het mogelijk om efficiënt nieuwe materialen te ontwerpen, die met behoud van specifieke materiaaleigenschappen de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen verminderen. Daarnaast zal de software de recycleerbaarheid van deze materialen beoordelen, wat bijdraagt aan de duurzaamheid van de materiaalontwikkelingen. *DICE-score: 15.*

2.5 CLUSTER 3: TERUGWINNING VAN SPECIFIEKE KRITIEKE GRONDSTOFFEN

Omdat kritieke grondstoffen vaak verwerkt zijn in complexe materialen, componenten en producten volstaat eenvoudige recycling niet. Er zijn innovatieve chemische processen nodig om de grondstoffen uit de ingezamelde materialen, producten en “afval”-stromen uit productieprocessen terug te winnen. Nederlandse bedrijven willen zich specialiseren in verzameling en extractie uit deze materiaalstromen om de eigen en Europese industrie te voorzien van kritieke grondstoffen uit de urban mine. Een voorbeeld is het terugwinnen van metalen uit schrootstromen. Het sorteren van schroot is al onderdeel van het Groeifondsinitiatief ‘Groeien met groen staal’. Het residue (5-10% van de stroom) is rijk aan koper en andere waardevolle metalen; voor de terugwinning is technologieontwikkeling nodig.

Metal Recovery Facility

In de al genoemde ‘Metal Recovery Facility’ wil Nyrstar naast directe verwaarding van kritieke mineralen en metalen vanuit de primaire feeds (zinkertsconcentraten) ook recycling (of ‘urban mining’) van waardevolle mineralen en metalen mogelijk maken. Nyrstar kan zink- en loodhoudende nevenstromen van derden (uit de recycling van e-waste of batterijen) en andere metallurgische processen bijmengen in de feeds voor de Metal Recovery Facility. Door de grote schaal van de operatie kan Nyrstar ook kleine reststromen op een efficiënte wijze opwaarderen, en de circulariteit van dit soort metalen verhogen.

De doelstelling van het Nyrstar-project is om een germanium- (en mogelijk gallium- en indium)- concentraat te produceren, dat door bestaande en nieuwe raffinage-partners verder verwerkt kan worden. Het concrete doel is om een operationele demoplant te bouwen die een hoeveelheid (ongeveer 25% van beoogde commerciële installatie) kan produceren. De kosten voor deze demonstrator bedragen ca € 24 miljoen (ontwikkeling, capex en opex). *DICE-score: 13,75.*



Afbeelding 4: De Metal Recovery Facility is voorzien op het terrein van Nyrstar in Budel.

Andere projectvoorstellen in dit cluster betreffen:

- **Recycling van kritieke grondstoffen uit groene energietechnieken:** Een groep bedrijven en onderzoeksinstituten wil innovatieve scheidingstechnologie ontwikkelen en testen voor materialen die een steeds belangrijkere rol krijgen in de transitie naar groene technologie en elektrificatie van mobiliteit en industrie. Bestaande scheidingstechnologie is veelal niet efficiënt en kostbaar, en de zuiverheid van de recyclaten laat te wensen over, waardoor de toepassing van de recyclaten in nieuwe producten wordt belemmerd. *DICE-score: 14.*
- **Terugwinning van kritieke grondstoffen uit oude afvalstromen:** Oude afvalstromen zoals mijnbouwafval, metaalslakken en bouwafval (asfalt, beton, bakstenen) bevatten kritieke grondstoffen. Een groep bouw- en andere bedrijven en instituten wil inventariseren welke grondstoffen winbaar zijn, hoeveel en met welke technieken dit rendabel kan. *DICE-score: 15.*
- **Kritieke grondstoffen winnen uit afvalwater:** Een groep bedrijven die afvalwater produceren, leveranciers van waterzuivering en instituten wil samen rendabele methoden ontwikkelen om kritieke grondstoffen uit afvalwater te winnen met biologische, elektrochemische en fysieke scheidingstechnieken. *DICE-score: 13.*
- **Robots en Artificial Intelligence voor (terug)winning van kritieke grondstoffen:** Een groep Nederlandse bedrijven, startups en onderzoeksinstituten wil onderzoeken hoe robots en kunstmatige intelligentie kunnen worden ingezet voor de inzameling en verwerking van afvalstromen en diepzeemijnbouw. Dit omvat vaak arbeidsintensieve of zeer precieze taken, deels in gevaarlijke omgevingen, bij het opsporen, winnen, hergebruik, recycling en herfabricage van kritieke grondstoffen. *DICE-score: 15,5.*

2.6 CLUSTER 4: ONDERSTEUNENDE KENNISPROJECTEN

De hiervoor beschreven projecten leveren kennis op over de strategieën om minder afhankelijk te worden van import van kritieke grondstoffen. Om deze opties succesvol toe te passen is breed verspreide kennis nodig over waar in de Nederlandse economie de kritieke grondstoffen zich bevinden, waar ze gewonnen of teruggewonnen kunnen worden, hoe en waar dit mogelijk is, wie aanbod en heeft en wie vraag, en hoe organisaties bewogen kunnen worden om kringlopen te sluiten. Hulpmiddelen hiervoor zijn product- en materialenpaspoorten die track & trace vergemakkelijken, en digitale infrastructuur voor het beheren van kritieke grondstoffen in de economie. Ook is nodig dat de in de beschreven projecten opgedane kennis over de te ontwikkelen technieken en pilots wordt opgenomen in onderwijsprogramma's voor studenten en werkkenden. Ook is aandacht voor gedragsverandering bij beleidsmakers, industrie, consumenten en het publiek nodig om onze afhankelijkheid van kritieke grondstoffen te doen afnemen.

Kenniscentrum kritieke grondstoffen

Om deze kennis te borgen wordt voorgesteld een Nationale CRM Hub (werktitel) op te zetten waarin verschillende kennisinstituten samenwerken zoals TU Delft, TU Delft | The Hague Campus, Universiteit Leiden, Erasmus Universiteit Rotterdam, Leiden-Delft-Erasmus center for sustainability, MaterialenNL, TopSector Chemie, 4TU alliance, M2i, Nederlands Materialen Observatorium, VNCI, RIVM, EiT Raw Materials, Port of Rotterdam, Joint Research Center for the European Commission, The Hague Center for Strategic Studies, en het World Resource Institute. Het doel is om hun krachten te bundelen ten behoeve van de juiste informatievoorziening en onderwijs voor beleidsmakers, industrie en het brede publiek. Het kenniscentrum kan onder meer aanbevelingen doen over het actualiseren van de lijst van strategische en kritieke grondstoffen. *DICE-score: 11.*

Andere projectvoorstellen in dit cluster betreffen:

- **Kritieke grondstoffen opnemen in productpaspoorten:** In verschillende sectoren worden digitale product- en materialenpaspoorten ontwikkeld om producenten, consumenten en ketenpartijen inzicht in de samenstelling van de gebruikte materialen en de leveringsketens te bieden. Hierin dient ook plaats te worden ingeruimd voor kritieke grondstoffen. Hiermee verbonden zijn vragen zoals hoe stromen van kritieke grondstoffen getraceerd en beheerd kunnen worden, hoe dit te standaardiseren, en welke digitale infrastructuur nodig is om dit mogelijk te maken. *DICE-score: 13,5.*
- **Normalisatie:** Nederland heeft een nationale normcommissie Kritieke grondstoffen opgericht om bij te dragen aan invloed uit te oefenen op de Europese (CEN) en wereldwijde (ISO) normontwikkelingen. Normalisatie is een onderdeel van het instrumentarium om de leveringszekerheid te vergroten. Normen zijn niet neutraal: welke normen wanneer worden opgesteld en hoe deze eruit komen te zien is belangrijk voor het handelingsperspectief van de industrie. *DICE-score: n.b.*
- **Kennisopbouw rond mijnbouw, raffinage en circulariteit van hightech maakindustrie:** Samenbrengen van de resultaten van de diverse projecten en verspreiden naar een groeiende community van professionals van lokale en nationale overheden, het bedrijfsleven, brancheorganisaties en universiteiten en beroepsonderwijs, door middel van onderwijs en publieksvoorlichting. Het doel hiervan is om het bewustzijn over de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen te vergroten, de handelingsperspectieven bekendheid te geven en maatschappelijke acceptatie hiervan te bevorderen (zoals van mijnbouw). *DICE-score: 11.*
- **Keteninnovatie voor materialentransities:** Bij de huidige metaalrecycling vindt vaak alleen een grove scheiding plaats tussen metalen. Als de marktwaarde aanzienlijk toeneemt wordt er door-gesorteerd en/of voorbewerkt, maar het overige recyclingpotentieel en de toepassing van hogere R-strategieën zoals hergebruik blijven vaak onvoldoende benut. Een methode om keteninnovatie in metaal-afvalketens te verkennen en inzameling op een kwalitatief hoger niveau te krijgen en hoger te verwaarden is ontwikkeld door Circonnect. Op een gestructureerde manier worden ketenpartners uitgedaagd en ondersteund om een individuele en de collectieve circulaire propositie te ontwikkelen. *DICE-score: n.b.*

2.7 BEHOEFTE AAN ONDERSTEUNING DOOR OVERHEID

De door CCRM voorgestelde projecten vertegenwoordigen een investering in kennis- en technologie-ontwikkeling van rond € 300 miljoen (zie de projectfiches in de annex). Dit is een eerste-orde-raming van de behoefte: bij verdere uitwerking van de projecten kan dit preciezer worden bepaald. Dat kan door een efficiëntieslag bij het ordenen van de projecten leiden tot een lagere raming, maar ook tot een hogere raming als meer industrie het belang van het thema onderkent en zich aansluit in de projecten of met aanvullende projecten. De nu voorgestelde projecten vormen een goede set om mee te starten, maar om de problematiek in de volle breedte aan te pakken is meer nodig. Andersom kan na verdere uitwerking ook gekeken worden welke selectie van projecten het meeste resultaat oplevert voor een beschikbaar gesteld budget.

Het precieze bedrag is in dit stadium niet belangrijk, wel maakt de raming duidelijk dat er een grote opgave ligt. Een opgave bovendien waarvoor de industrie en de kennisinstellingen steun van de overheid nodig hebben. De industrie moet met behulp van onderzoeks- en onderwijsinstellingen kennis opbouwen over de huidige afhankelijkheden van kritieke grondstoffen, de mogelijkheden om deze afhankelijkheden te verminderen, en hoe te kiezen voor de beste oplossingen voor de specifieke situatie van elke sector en bedrijf. Op korte termijn is voor de te ontwikkelen technieken en oplossingen nog geen business case omdat deze moeten concurreren met goedkope(re) grondstoffen uit de landen die nu de export van de kritieke grondstoffen beheersen. Ook moet de industrie voor de projecten extra investeringen doen om aan de Nederlandse/Europese eisen voor milieu en MVO te voldoen.

Voor de in deze agenda verzamelde innovatieprojecten is daarom (co-) financiering essentieel uit Rijksmiddelen, zoals subsidies, publiek-private financiering, etc. zowel binnen bestaande regelingen als door middel van eventueel nieuw te ontwikkelen ondersteuningsinstrumenten. Ook kan Europese financiering gezocht worden. De Europese Commissie heeft bedrijven gevraagd om onder de Critical Raw Materials Act zg. **'strategic projects'** in te dienen. In mei jl. waren er 170 voorstellen ingediend. Voorstellen komen in aanmerking als ze op korte termijn een significante bijdrage kunnen leveren aan de Europese leveringszekerheid van kritieke grondstoffen. Dat betekent dat de techniek volwassen moet zijn, de productievolumes aanzienlijk, en dat het project duurzaam uitgevoerd kan worden. Zo heeft Nyrstar hun plan voor de Metal Recovery Facility ingediend.

Behalve financiering van concrete projecten en bredere kennisontwikkeling is er meer beleidsondersteuning nodig om de CCRM-initiatieven te ondersteunen. Zo is het van belang om bureaucratie bij vergunningverlening te verminderen om projecten te versnellen, om belemmerende wetgeving aan te passen aan de nieuwe ambities, en om de infrastructuur zoals het elektriciteitsnet uit te breiden om bedrijven in de sleutelsectoren de mogelijkheid te bieden zich te ontwikkelen. Een voorbeeld van belemmerende wetgeving is de wettelijke criteria voor einde-afval-status. Materialen die uit afval gehaald kunnen worden voor hergebruik, kunnen in het ene land als afval gelden en in het andere niet. Dat belemmert grensoverschrijdend transport en beperkt de marktvaart naar deze secundaire materialen voor industriële toepassingen.¹⁰

10. Deze en andere beleidsaanbevelingen worden onder meer gedaan in het rapport van The Hague Institute of Strategic Studies (2023), **Advancing European Mineral Security. Insights from the Dutch industry**, November.



H3

Hoofdstuk 3

Investeren in een goede positie van de Nederlandse industrie in Europa

Het samenwerkingsverband Circular Critical Raw Materials vraagt het kabinet om de randvoorwaarden te verbeteren voor investeringen in de strategische autonomie van Nederland. Dat wil zeggen: ons vermogen als Nederland om zelf(standig) beslissingen te nemen over – in dit geval – het gebruik van grondstoffen, zonder dat andere landen onze mogelijkheden en keuzes beperken of bepalen.

Wij worden hierin gesterkt door het **Regeerprogramma**, dat stelt:

“We willen minder afhankelijk worden van andere landen voor de levering van onze energie en (kritieke) grondstoffen. En willen we als land de kansen van de klimaat- en energietransitie verzilveren. Dit doen we zowel in Europees als in Caribisch Nederland. De wereldwijde klimaat- en energie-uitdagingen van vandaag scheppen namelijk de groeimarkten van morgen. Om groen te groeien, onze welvaart te behouden en onze energieonafhankelijkheid te vergroten moeten we nú de juiste keuzes maken. Door de juiste randvoorwaarden te scheppen en stabiel overheidsbeleid te voeren houden we vaart in de transitie.”¹²

Wij vragen van het kabinet om de implementatie van deze innovatieagenda te steunen om strategische autonomie voor (kritieke) grondstoffen te bereiken. Hiervoor is nodig:

- **R&D budget:** Reserveer budget voor (in eerste instantie) R&D naar vergroten van strategische autonomie voor (kritieke) grondstoffen, en maak ruimte in nieuwe en bestaande regelingen voor ondersteuning van in deze agenda genoemde *demonstrators* en andere projecten voor circulaire kritieke grondstoffen.
- **Gelijk speelveld:** Herstel het gelijke speelveld tussen Europese lidstaten op het gebied van energie- en netwerkkosten voor de industrie, die een hoofdrol spelen in het verbeteren van onze strategische autonomie.
- **Wet- en regelgeving:** Stimuleer marktcreatie van circulaire materialen, verbied het storten, verbranden en exporteren van materialen die kritieke grondstoffen bevatten, en bewerkstellig het versneld verlenen van milieuvergunningen voor proeffabrieken en start-ups op het gebied van kritieke grondstoffen.

Deze ondersteuning is in lijn met de aanbevelingen van het **Draghi-rapport** rond kritieke metalen (aandacht voor de gehele waardeketen, inzet op gezamenlijk inkopen, noodzaak van publieke financiering).¹³

12. Rijksoverheid, Regeerprogramma. Uitwerking van het hoofdlijnenakkoord door het kabinet, 13 september 2024.

13. “When it comes to increasing security and reducing dependencies, the EU must ensure access to critical resources and protect key value chains. This may require securing preferential trade agreements with key partners and guaranteeing critical supplies, including through offtake agreements and direct investment in production facilities abroad.”
Mario Draghi, *The future of European competitiveness – A competitiveness strategy for Europe*, 9 september 2024.

Een goede vervolgstap voor de implementatie van de innovatieagenda zou zijn om een routekaart kritieke grondstoffen of kritieke metalen te maken, aansluitend op de aankomende routekaarten voor batterijen en wind op zee. Deze routekaarten zijn een instrument van het ministerie van Economische Zaken. Deze twee productgroepen, maar ook de andere prioritaire productgroepen van de Nationale Grondstoffenstrategie waarvoor routekaarten volgen (elektrolyzers, zon-pv-systemen, klimaatinstallaties, machines/werktuigen, elektrische apparaten en elektronica), maken in meer of mindere mate gebruik van een spectrum van kritieke grondstoffen. De behoefte aan kritieke grondstoffen en de stappen om afhankelijkheid te verminderen worden al als aandachtspunt in de routekaart van elke prioritaire productgroep meegenomen. De routekaart kritieke grondstoffen brengt deze bouwstenen per productgroep samen en denkt dan de benodigde overkoepelende en randvoorwaardelijke beleidsmaatregelen en instrumenten uit. Uit deze brede analyse volgt dan bijvoorbeeld waar behoefte is aan (strategische) voorraadvorming, en een mogelijke pilot op dit terrein.



Annex

Projecten voor circulaire kritieke grondstoffen

Het samenwerkingsverband CCRM heeft een reeks voorstellen voor innovatieprojecten ingezameld die bedoeld zijn om bij te dragen aan het verminderen van de afhankelijkheid van de Nederlandse economie van de import van kritieke en strategische grondstoffen.

We zien vier clusters:

- rond duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland;
- rond remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen;
- voor (terug)winning van specifieke kritieke grondstoffen uit verschillende primaire en secundaire stromen (erts en slak, afvalwater, de urban mine);
- en een cluster met projecten met ondersteunend karakter.

Voor elk project is in tabelvorm gegeven: de naam, het doel, de voorziene activiteiten, de sector en/of productgroep waarop het project zich richt, welke kritieke grondstoffen het betreft, de deelnemende partijen en tenslotte de omvang en duur.

Disclaimer

Deze projectvoorstellen zijn nog in ontwikkeling. De deelnemers, activiteiten, omvang en duur kunnen nog veranderen in de aanloop naar de start van het project. Dit zal ook afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van financiële ondersteuningsregelingen en de eisen die daarin worden gesteld aan de in aanmerking komende projecten. Te denken valt aan inhoudelijke prioriteiten die de regelingen stellen, de maximale omvang van een project, en dergelijke.

De volgende afbeelding laat zien op welke prioritaire productgroepen en sectoren de projecten in de vier clusters zich richten. Dit laat een grote variatie zien, die nog kan toenemen als de resultaten van de projecten ook op productgroepen en sectoren worden toegepast die in eerste instantie niet binnen scope van de projecten vallen.

Prioritaire productgroepen

	elektrolyzers	batterijen	wind op zee/land	zon-pv-systemen	klimaatinstallaties	machines/werktuigen	elektrische apparaten en electronica
Cluster 1: Duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland							
Lithiumraffinage							
Winning van kritieke metalen door planten							
Winning van zeldzame aardmetalen uit erts en mangaanknollen							
Bevorderen van acceptatie van mijnbouw							
Cluster 2: Remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen							
Alternatief voor roestvast staal en gereedschapsmaterialen							
Remanufacturing van hightech producten							
Remanufacturing voor kapitaalgoederen							
Substitutie van kritieke grondstoffen – SustInno							
Substitutie ondersteunen met Safe and Sustainable by Design (SSbD)							
Substitutie ondersteunen met Artificial Intelligence							
Early-Stage Environmental Decisions (ESED) tool voor ontwerpers							
Cluster 3: Terugwinning van specifieke kritieke grondstoffen							
Ge (en Ga / In) uit zinkerts en secundaire bronnen							
Recycling van kritieke grondstoffen uit groene energietechnieken							
Terugwinning van kritieke grondstoffen uit oude afvalstromen							
Kritieke grondstoffen winnen uit afvalwater							
Robots en Artificial Intelligence voor (terug)winning van kritieke grondstoffen							
Cluster 4: Ondersteunende kennisprojecten							
Kritieke grondstoffen opnemen in product- en materialenpaspoorten							
Digitale infrastructuur voor management van kritieke grondstoffen							
Onderwijs, bewustwording, transitie, maatschappelijke acceptatie							
Gedragsonderzoek voor materialentransities							

Afb. 5: Overzicht van prioritaire productgroepen en sectoren waar de voorgestelde projecten zich op richten.

Sectoren

	energie	mijnbouw	landbouw	scheepvaart	lucht- en ruimtevaart	automobiel	bouw	sloop- en recycling	basismetalen	medisch	waterzuivering
Cluster 1: Duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland											
Lithiumraffinage											
Winning van kritieke metalen door planten											
Winning van zeldzame aardmetalen uit erts en mangaanknollen											
Bevorderen van acceptatie van mijnbouw											
Cluster 2: Remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen											
Alternatief voor roestvast staal en gereedschapsmaterialen											
Remanufacturing van hightech producten											
Remanufacturing voor kapitaalgoederen											
Substitutie van kritieke grondstoffen – SustInno											
Substitutie ondersteunen met Safe and Sustainable by Design (SSbD)											
Substitutie ondersteunen met Artificial Intelligence											
Early-Stage Environmental Decisions (ESED) tool voor ontwerpers											
Cluster 3: Terugwinning van specifieke kritieke grondstoffen											
Ge (en Ga / In) uit zinkerts en secundaire bronnen											
Recycling van kritieke grondstoffen uit groene energietechnieken											
Terugwinning van kritieke grondstoffen uit oude afvalstromen											
Kritieke grondstoffen winnen uit afvalwater											
Robots en Artificial Intelligence voor (terug)winning kritieke grondstoffen											
Cluster 4: Ondersteunende kennisprojecten											
Kritieke grondstoffen opnemen in product- en materialenpaspoorten											
Digitale infrastructuur voor management van kritieke grondstoffen											
Onderwijs, bewustwording, transitie, maatschappelijke acceptatie											
Gedragsonderzoek voor materialentransities											

Cluster 1: Duurzame winning van kritieke grondstoffen in Nederland

- Lithiumraffinage
- Winning van kritieke metalen door planten
- Winning van zeldzame aardmetalen uit fosfaat
- Bevorderen van acceptatie van mijnbouw

Naam	Lithiumraffinage		
Doel	Ontwikkelen en demonstreren van raffinageproces om lithiumchloride (uit een geothermische brijn of een recyclingproces) om te zetten tot <i>battery-grade</i> lithiumhydroxide, dat gebruikt kan worden voor de fabricage van batterijen. Eerste experimenten op labschaal zijn uitgevoerd en het proces dient verder te worden ontwikkeld en opgeschaald. In combinatie met het vinden van geothermische bronnen en een efficiënte extractietechnologie, zal een dergelijk verbeterd conversieproces een nieuwe waardeketen rondom lithium en lithium-batterijen in Nederland mogelijk maken.		
Activiteiten	In het project wordt een pilot plant unit (circa 1 kg/uur) ontworpen en gebouwd om inzicht te verkrijgen in de procesvoering en verkrijgen van de juiste kwaliteit product lithiumhydroxide, en vandaaruit een grotere demo-plant (10-20 kg/u) te ontwerpen en bouwen. Dit moet uiteindelijk een investeringsbeslissing onderbouwen voor een commerciële plant. Initiatiefnemer Nobian zal samenwerken met contractresearch en leveranciers van apparatuur, engineeringbedrijven, een (Europese) leverancier van lithiumchloride uit geothermische aquifers, batterijrecyclers, en met eindgebruikers van battery-grade lithiumhydroxide (met name autoproducenten).		
Sector/ productgroep	Mijnbouw, batterijen	Kritieke grondstoffen	Lithium
Partijen	Nobian, Suster-Demcon	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 24 miljoen (€ 2 miljoen pilot, € 22 miljoen demo) 4-8 jaar

Naam	Winning van kritieke metalen door planten		
Doel	Ontwikkelen van ‘phytomining’, ook wel ‘metal farming’ genoemd. Sommige hyperaccumulator-planten (‘metal crops’) nemen geconcentreerd metalen zoals nikkel, zink of cadmium op als ze groeien op een bodem die hier rijk aan is. De metalen kunnen na oogsten van de planten worden gewonnen uit ‘bio-erts’. Geschikte bodems zijn niet in Nederland maar wel elders in Europa te vinden. Met deze techniek kan men ook met zware metalen vervuilde bodems saneren (‘phytoremediation’).		
Activiteiten	<p>Om cultivars te creëren die specifiek zink of cadmium accumuleren worden de volgende deelprojecten uitgevoerd:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Voor het identificeren van geschikt uitgangsmateriaal worden mogelijk geschikte planten (<i>Odontarrhena chalcidica</i> voor nikkel, zinkboerenkers en verwante soorten voor cadmium/zink) geanalyseerd, gevolgd door selectie op effectiviteit van accumulatie en “speed-breeding” voor veredeling van pre-cultivars. • De pre-cultivars worden door veredeling beoordeeld op en aangepast voor phytomining, eerst op de lab-schaal en daarna in pilot-scale in het veld. • Parallel hieraan worden methodes ontwikkeld voor hydrometallurgische verwerking van bio-erts op de lab-schaal. • Botanickel richt zich op hydro-pyrometallurgische verwerking van bio-erts tot grondstoffen, waarbij samenwerking met chemische bedrijven in Nederland voor het gebruik van deze grondstoffen wordt gezocht. 		
Sector/ productgroep	Landbouw / mijnbouw	Kritieke grondstoffen	Nikkel (strategic raw material), cadmium/zink
Partijen	Wageningen UR, Botanickel	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 1,7 miljoen nikkel € 1,7 miljoen cadmium/zink 5 jaar

Naam		Winning van zeldzame aardmetalen uit fosfaat	
Doel	Verkenning van de mogelijkheden om 'rare earth elements' (REE) te winnen als bijproduct uit geïmporteerde fosfaat (voor kunstmest) en/of fosfaatrijke Zweedse ijzerertsen. Fosfaaterts bevat typisch 0,5 gewichtsprocent REE. Nederland voert 3,5 miljoen kg per jaar fosfaaterts in (en meestal weer door), daarin zit dan 17,5 ton REE.		
Activiteiten	Onderzoek zal zich richten op materiaalkarakterisatie: hoeveel materiaal zit waar in het erts, in welke mineralen, en wat zijn efficiënte manieren van extractie ('climate smart mining')?		
Sector/ productgroep	Mijnbouw	Kritieke grondstoffen	Rare earth elements, mangaan, fosfaat
Partijen	Universiteit Twente ITC	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 0,7 miljoen 4 jaar

Naam		Bevorderen van acceptatie van mijnbouw	
Doel en activiteiten	Onderzoeken hoe actieve betrokkenheid bij de omgeving en transparante communicatie kan zorgen voor 'social license to operate' voor mijnbouwoperaties in Nederland, zoals voor winning van lithium uit geothermaal water. De problemen met de leveringszekerheid van grondstoffen in Nederland en Europa komen voor een deel voort uit afkeer van mijnbouw in Europa, waardoor we de meeste grondstoffen van buiten de EU moeten importeren. Zeker in Nederland staan burgers zeer kritisch tegenover projecten die met de diepe ondergrond te maken hebben (zoals aardgaswinning, afvalwaterinjecties, CO ₂ -opslag, geothermie en in toenemende mate ook zoutwinning). Consumenten letten toenemend op de herkomst van grondstoffen, met name wat betreft 'environmental, social and governance' aspecten van de winning elders in de wereld.		
Sector/ productgroep	Mijnbouw	Kritieke grondstoffen	Alle
Partijen	Universiteit Twente ITC	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 0,4 miljoen 4 jaar

Cluster 2: Remanufacturing en substitutie van kritieke grondstoffen

- Alternatief voor roestvast staal en gereedschapsmaterialen
- Remanufacturing van hightech producten
- Remanufacturing van kapitaalgoederen
- Substitutie van kritieke grondstoffen - SustInno
- Substitutie ondersteunen met Safe and Sustainable by Design (SSbD)
- Substitutie ondersteunen met Artificial Intelligence
- Early-Stage Environmental Decisions (ESED) tool voor ontwerpers

Naam	Alternatief voor roestvast staal en gereedschapsmaterialen		
Doel	Roestvaste staalsoorten bevatten schaarse elementen zoals nikkel en chroom. Het ontwikkelen van Roestvast staal met minder legeringselementen maakt ons onafhankelijker. Het zeer harde wolfram wordt gebruikt in gereedschapsmaterialen, die essentieel zijn voor het maken van metalen onderdelen en producten. Doel is het ontwikkelen van alternatieve materialen met een kwaliteit gelijk of beter dan het huidige materiaal, inclusief de digitalisering, bijvoorbeeld materiaal paspoorten (DPP).		
Activiteiten	De beoogde activiteiten zijn: <ul style="list-style-type: none"> • Het ontwikkelen van alternatieve materialen met vergelijkbare kwaliteit (prototyping van alternatieve materialen; inventarisatie van eigenschappen, ontwikkelen van meetmiddelen). De kwaliteit van de alternatieven moet gelijk of beter worden dan het huidige materiaal. • Digitale modellen (Digital Twins) om processen robuust en voorspelbaar te maken (inclusief AI; procesoptimalisatie en robuustheid). De nieuwe materialen moeten beschikbaar komen als digitale modellen als onderdeel van Industry 4.0 om processen en producten te kunnen optimaliseren en voorspelbaar te maken. • Real life demonstrator(s) voor validatie en demonstratie van het proces. Er moet een aantal demonstrators komen die de ontwikkelde technologie kunnen valideren en demonstreren. • Digitale paspoorten en de bijbehorende digitale infrastructuur. 		
Sector/ productgroep	Consumentenapparaten, levensmiddelenindustrie, energiesector (bijv. elektrolyzers)	Kritieke grondstoffen	Nikkel (strategic raw material), titanium, niobium, chroom, wolfram
Partijen	Philips Personal Care samen met partners	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 10-20 miljoen (hangt af van aantal productgroepen) 6 jaar

Naam		Remanufacturing van hightech producten	
Doel	Verbeteren van beschikbaarheid van kritieke grondstoffen door herfabricage, substitutie en recycling van producten volledig tot stand te brengen bij bedrijven in de sectoren maritiem, lucht- en ruimtevaart, batterijen, bouw en materialenrecycling. Het doel is om producten en componenten en de hierin gebruikte kritieke grondstoffen langer in gebruik te houden, en de vervanging en recycling van die materialen te vergroten. Belangrijk is dat dit project een gezond technisch en bedrijfsmodel zal demonstreren, waardoor bedrijven gezonde circulaire CRM-strategieën kunnen realiseren.		
Activiteiten	<p>De aanpak wordt toegepast op de volgende casussen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Re-use & Remanufacturing voor PV, hoogwaardige recycling van PV, analyse van behoefte aan kritieke grondstoffen voor PV inverters; • Optimaal materiaalgebruik door dubbele toepassing in geïntegreerde batterij-elektrolyzers met dubbelgebruik van elektronica; • Hergebruik en herfabricage van NdFeB-magneten uit elektrische voertuigen en herontwerp voor toekomstige recyclebaarheid; • Vervanging van kritieke grondstoffen voor medische hulpmiddelen zoals implantaten door niet-kritieke materialen, inclusief 3D-printen productie; • Vervanging van nikkel door mangaan in staal, focus op austenitische roestvaste staalsoorten en het combineren van (roestvaste) staalsoorten. 		
Sector/ productgroep	Scheep-, lucht- en ruimtevaart, batterijen, bouw, materialenrecycling; systemen als zon-PV, batterijen, elektrolyzers, magneten, basismetalen, medische apparatuur	Kritieke grondstoffen	Boor, kobalt, gallium, germanium, lithium, REE, magnesium, grafiet, platina-groepmetalen, mangaan, niobium, titanium, wolfram, vanadium, nikkel
Partijen	Groep bedrijven met coördinatie van TU Delft	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 47 miljoen 8 jaar

Naam	Remanufacturing van kapitaalgoederen		
Doel	Toepassen van de strategie van remanufacturing (of herfabricatie) op hightechsystemen in de Nederlandse maakindustrie. Hierbij wordt een gebruikt product teruggebracht naar minimaal zijn aanvankelijke prestatie, met gelijke of betere garantievoorwaarden dan bij een nieuw product. Het gaat om het herstellen, reviseren, upgraden en hergebruiken van gebruikte onderdelen en systemen, eventueel in combinatie met nieuwe. Deze bij uitstek circulaire strategie vermindert de vraag naar kritieke grondstoffen omdat door de levensduurverlenging de grondstoffen in de “installed base” beter worden benut, en er tevens ruimte is voor substitutie door alternatieve grondstoffen.		
Activiteiten	<p>De activiteiten zijn verdeeld over 5 werkpakketten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het door de bedrijven en kennisinstellingen gezamenlijk oplossen van concrete generieke knelpunten rondom implementatie van circulaire bedrijfsactiviteiten. • Het door de kennisinstellingen laten ontwikkelen van Open standaarden, werkinstructies en procedures om remanufacturing te verankeren in de bedrijfsvoering en productieketen (cyclus), met name binnen de bestaande digitale infrastructuur (ERP, PLM, MES systemen) en de daarvoor benodigde data spaces, certificaten en productpaspoorten. • Hardware en software voor een Remanufacturing pilotlijn die dient als “test before invest” omgeving voor bedrijven die vragen hebben over implementatie van remanufacturing in hun fabricageprocessen; • Informeren, inspireren en activeren van grotere groepen bedrijven dan enkel de actieve deelnemers (OEM’s, leveranciers en integrators) door bijeenkomsten; een levende remanufacturing community/platform hightech maakindustrie; • Organiseren van kennis en business development capaciteit specifiek voor MKB. 		
Sector/ productgroep	Hightech machinebouw, scheepvaart, evt. luchtvaart	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	Groep bedrijven met coördinatie van de Brabantse Ontwikkelings Maatschappij en TNO	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 100 miljoen 7 jaar

Naam			
Substitutie van kritieke grondstoffen – SustInno			
Doel	Ontwikkelen van vervangende materialen voor de lucht- en ruimtevaart, automobielandustrie, chemie, elektrolyse, medische toepassingen en recycling. Deze materialen moeten de afhankelijkheid van nu toegepaste kritieke grondstoffen verminderen en duurzaam, circulair en kostenconcurrerend zijn. Er wordt gekeken naar nieuwe materialen (nieuwe legeringen, composieten en afval), nieuwe katalysatoren, geavanceerde productie (3D-geprinte implantaten), recycling- (bijv. solvothermische) methoden en levenscyclusanalyses.		
Activiteiten	<p>De beoogde activiteiten in het project omvatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificeren en ontwikkelen van alternatieven met speciale aandacht voor materialen uit teruggewonnen stromen en voorgesteld door AI (parallel project “Substitutie ondersteunen met Artificial Intelligence”). • Ontwikkeling van elektrodes uit gerecyclede of minder zuivere materiaalstromen. • Ontwerp en synthese van duurzame materialen en katalysatoren met een laag gehalte kritieke grondstoffen in de betrokken sectoren (TRL3-4). • Demonstratie van de effectiviteit, milieu-impact en duurzaamheid van deze vervangingen bij TUD of partners (TRL 4-5). • Onderzoek naar het effect van de substitutie van de kritieke grondstoffen gedurende de levenscyclus van producten en in de toeleveringsketens. • Opschaling van deze technologieën naar demonstratiefabrieken (TRL7). 		
Sector/ productgroep	Lucht- en ruimtevaart, automobielandustrie, chemie, elektrolyse, medische toepassingen en recycling	Kritieke grondstoffen	Kobalt, chroom, lithium, koper, magnesium, fluor, hafnium, iridium, nikkel, palladium, platina, titanium
Partijen	Groep bedrijven samen met TU Delft	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 10,7 miljoen 5 jaar

Naam	Substitutie ondersteunen met Safe and Sustainable by Design (SSbD)		
Doel	SSbD is een aanpak die bedrijven helpt om vroeg in het ontwikkelproces de mogelijke effecten van chemicaliën, materialen, producten en processen op mensen en de leefomgeving in kaart te brengen. Doel is om deze aanpak te gebruiken en verfijnen om nieuwe materialen te helpen ontwikkelen waarin kritieke grondstoffen gedeeltelijk of geheel vervangen worden door andere veilige stoffen. De aanpak wordt aangeboden aan alle CCRM-projecten.		
Activiteiten	<p>Om strategieën voor beoordeling van risico's voor de gezondheid van mens en milieu van (substitutie van) kritieke grondstoffen te formuleren zal worden gewerkt aan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inventarisatie van bestaande gevaren-/toxicologische gegevens voor te kiezen kritieke grondstoffen; • Ontwikkeling van computermodellen voor vroege voorspelling van gezondheidseffecten van kritieke grondstoffen en te ontwikkelen alternatieven. Mogelijke in-silico technologieën: QSAR, read-across, 3D-docking voor het voorspellen van verschillende gezondheidseffecten (H-phrases, CLP, adverse outcome voorspelling, enz.); • Verkenning van het gebruik van AI/LLM voor het opvullen van data-lacunes; • Toepassing van bestaande (bij voorkeur door regelgeving geaccepteerde, en/of ontwikkeling van nieuwe) <i>in vitro</i> (op celkweek gebaseerde) methoden voor identificatie van de gevaren van kritieke grondstoffen en alternatieven; • Combinatie met voorziene blootstellingsscenario's om een eerste risico-inschatting te kunnen maken; • Analyse van ecotoxiciteit en ecologische levenscyclusanalyse (LCA); • Prospectieve LCA om de potentiële milieueffecten van het opschalen van innovatieve technologie/materialen te beoordelen; • Voor CCRM-projecten: weging van bovenstaande voorspelde risico's voor de gezondheid van mens en milieu, naast duurzaamheidsaspecten, t.o.v. gegevens van beoogde materiaal eigenschappen/prestaties en kosten, ter ondersteuning van de besluitvorming tijdens innovatie. 		
Sector/ productgroep	Diverse	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	TNO met bedrijven	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 20 miljoen 4 jaar

Naam		Substitutie ondersteunen met Artificial Intelligence	
Doel	Ontwikkelen van software die data en kennis uit gedane experimenten met nieuwe materialen en kwantummechanische berekeningen analyseert en toegankelijk maakt voor toepassing in ontwerpprocessen van nieuwe materialen. Dit versnelt het maken van keuzes tijdens de ontwikkeling van producten en processen om voor specifieke materiaaleigenschappen minder afhankelijk te worden van kritieke grondstoffen.		
Activiteiten	De activiteiten omvatten: <ul style="list-style-type: none"> • Modelontwikkeling van een gefundeerd en voorspellend wiskundig raamwerk dat kan helpen bij de besluitvorming met betrekking tot investeringen en het gebruik van kritieke grondstoffen; • Gegevensverzameling; • Benchmarking van het model. 		
Sector/ productgroep	Defensie, staalproductie, medisch, halfgeleiders	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	TU Delft met bedrijven	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 1,5 miljoen 4 jaar

Naam		Early-Stage Environmental Decisions (ESED) tool voor ontwerpers	
Doel	Ontwikkelen van een wetenschappelijk gevalideerde circulaire vroeg-stadium ontwerptool, de ESED-tool, en lanceren van een startup onderneming rond deze tool. Het wordt een universeel en industrieel toepasbaar instrument dat aansluit bij het ontwerpproces en de informatie die beschikbaar is in elke fase van het ontwerpproces. Dit biedt ondersteuning voor de productontwerper gedurende het gehele ontwerpproces, om verstandige circulaire ontwerpbeslissingen te nemen die de behoefte aan kritieke grondstoffen verminderen.		
Activiteiten	De startup wordt gebaseerd op het Early-Stage Environmental Decisions (ESED)-project uit 2023, met industriële partners ASML, Action en Holst Center. Het businessmodel en de tools worden ontwikkeld volgens de werkwijze beschreven in 'de lean startup'.		
Sector/ productgroep	Diverse	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	Startup vanuit TU Delft, met partners	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 2 miljoen 4 jaar

Cluster 3: Terugwinning van specifieke kritieke grondstoffen

- Germanium (en gallium/indium) uit zinkerts en secundaire bronnen
- Recycling van kritieke grondstoffen uit groene energietechnieken
- Terugwinning van kritieke grondstoffen uit oude afvalstromen
- Kritieke grondstoffen winnen uit afvalwater
- Recycling van medische isotopen
- Robots en Artificial Intelligence voor (terug)winning van kritieke grondstoffen

Naam	Germanium (en gallium/indium) uit zinkerts en secundaire bronnen		
Doel	<p>Uitbreiden van de huidige zinkfabriek met een Metal Recovery Facility. Zink is een ‘carrier metal’ voor diverse zeldzame metalen zoals germanium, antimoon, bismut, tin en mangaan. Dat wil zeggen dat zinkertsen vaak ook deze zeldzame metalen bevatten. Nyrstar wil processtappen toevoegen aan het huidige zink-verwerkingsproces in de fabriek in Budel om aan te tonen dat een germanium-concentraat geproduceerd kan worden. In later stadium kunnen ook andere grondstoffen zoals gallium en indium gewonnen worden.</p> <p>Europa gebruikt momenteel 20-25 ton germanium per jaar (10-11% van de wereldconsumptie), voornamelijk uit China ingevoerd. In de concentraten die Nyrstar in Budel verwerkt zit ruim 15 ton per jaar aan germanium.</p>		
Activiteiten	<ul style="list-style-type: none"> • Onderzoek – verder ontwikkelen (middels laboratoriumonderzoek) van het flowsheet tot correct niveau voor installatie demonstratie-faciliteit; • Vaststellen: wat zijn de optimale condities en wat is de mogelijke Ge/Ga/In recovery per processtap; kunnen bepaalde processtappen overgeslagen worden om kosten te minimaliseren (bijv het gebruik van alleen filters versus indickers + filters); wat is de beste methode om arsenicum (As) te verwijderen uit de processtroom (en eventueel een nuttige toepassing van As te identificeren); wat is de beste scheidingsmethode voor de verschillende metalen? • Ontwikkeling van demofaciliteit (engineering) in-house; • Bouwen van demofaciliteit op Nyrstar Budel vestiging voor 0,5-1 ton germanium per jaar); • Draaien van productie en valideren van germanium (en evt gallium en indium) productieproces op demo-schaal. Kritieke metaal concentraten produceren van voldoende zuiverheid voor verdere verwerking door derde partij. 		
Sector/ productgroep	Basismetalen	Kritieke grondstoffen	Germanium, gallium, indium
Partijen	Nyrstar	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 24 miljoen 4 jaar

Naam		Recycling van kritieke grondstoffen uit groene energietechnieken	
Doel	Ontwikkelen en testen van innovatieve selectieve scheidingstechnologie voor materialen die een steeds belangrijkere rol krijgen in de transitie naar groene technologie en elektrificatie van mobiliteit en industrie. Bestaande scheidingstechnologie is veelal niet efficiënt en kostbaar, en de zuiverheid van de recyclaten laat te wensen over, waardoor de toepassing van de recyclaten in nieuwe producten wordt belemmerd. Ook recycling van kritieke grondstoffen uit medische prothesen en implantaten loopt mee in het project.		
Activiteiten	<ul style="list-style-type: none"> • Onderzoek en ontwikkeling van geavanceerde scheidingstechnologieën en hun toepassingen op specifieke casestudies die waardevolle kritieke grondstoffen bevatten die vaak worden verdund in de afvalstroom als ze worden behandeld met conventionele fysieke verwerkingsmethoden. • Te onderzoeken technieken zijn <i>induced cavitation</i>, <i>targeted vibration</i>, <i>diamagnetic-separation</i>, <i>advanced flotation</i>, <i>solvolyse</i> en <i>multiscale centrifugation</i> in combinatie met meer gangbare methoden om materialen te vergruizen. • Opschalen van de ontwikkelde technologieën naar een demo-opstelling bij TU Delft of een recyclingbedrijf. • Demonstratie van verbeterde terugwinning van kritieke grondstoffen voor direct hergebruik of na zuivering tot hoogwaardige materialen. 		
Sector/ productgroep	Energie (PV-panelen, permanente magneten, elektroden en katalysatoren uit elektrolyse, batterijen en brandstofcellen, auto- en petrochemische katalyse), medisch/ tandheelkundig (prothesen en implantaten)	Kritieke grondstoffen	Grafiet, REE, nikkel, koper, gallium, germanium, zilver, platinagroepmetalen uit katalysatoren en medische prothesen en implantaten
Partijen	Groep bedrijven en onderzoeksinstellingen	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 7 miljoen 8 jaar

Naam	Terugwinning van kritieke grondstoffen uit oude afvalstromen		
Doel	Inventariseren welke kritieke grondstoffen in oude afvalstromen zoals mijnbouwafval, metaalslakken en bouwafval (asfalt, beton, bakstenen) winbaar zijn, hoeveel hiervan winbaar is, en met welke technieken dit rendabel kan. Bouw van een open demonstratiefaciliteit op TU Delft waar de technieken kunnen worden getest door aangesloten partijen. Het gaat om omvangrijke afvalstromen, bijvoorbeeld jaarlijks 2 Mt metaalslakken en 3 Mt asfalt (het deel dat niet hergebruikt kan worden met nieuw asfalt).		
Activiteiten	Activiteiten omvatten: <ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkeling van een nauwkeurige volumetrische karakteriserings- en modelleringsaanpak voor identificatie van kritieke grondstoffen, gebruikmakend van de nieuwste sensortechnologieën en geavanceerde data-analyse, incl. machine vision voor de casestudies: (1) BF- en BOS-slakken van Tata Steel die vanadium bevatten, (2) kolenmijnafval voor REE en (3) asfalt van wegen; • Bouw en testen van proef faciliteiten om de volumetrische karakterisering aan te tonen met de ontwikkelde sensortechnologieën en geautomatiseerde hulpmiddelen voor identificatie en meting in afvalstromen; • Ontwikkeling van selectieve metallurgische extractiemethoden voor de terugwinning van de geïdentificeerde kritieke grondstoffen, zowel bio-uitlogings-, elektrochemische als microgolf-ondersteunde uitloogmethoden. 		
Sector/ productgroep	Bouwsector, basismetalen	Kritieke grondstoffen	Diverse, zoals vanadium, platinagroep, nikkel, REE
Partijen	Bouw- en andere bedrijven en instituten	Omvang en duur (ordegrootte)	Niet opgegeven Er is sprake van 12 PhD's

Naam	Kritieke grondstoffen winnen uit afvalwater		
Doel	<p>Ontwikkelen van rendabele methoden om kritieke grondstoffen uit afvalwater te winnen met biologische, elektrochemische en fysieke scheidingstechnieken. Voorbeelden van beoogde afvalstromen zijn onder meer: vloeistoffen uit de productie van geothermische energie, afvalwaterzuivering, waterzuivering/ontziltting, slakkenuitloogwater uit de staalproductie, residuen van de productie van schimmels en recyclingactiviteiten (bijv. elektronisch afval). Dergelijke stromen die kritieke grondstoffen bevatten worden tot nu toe onderbenut, terwijl ze tegelijkertijd een milieugevaar vormen.</p>		
Activiteiten	<p>Activiteiten omvatten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • In samenwerking met de industriële partners een inventaris maken van afvalstromen en hun kenmerken; • Het ontwikkelen van sensoren om kritieke grondstoffen en hun concentraties in de stromen te identificeren om de extractiemethode aan te passen; • Testen en optimaliseren op laboratoriumschaal van voorgestelde extractie- en terugwinningsmethoden met het oog op maximale selectiviteit in enkelstaps- of meerstapsprocessen; • Testen op pilotschaal uitvoeren, inclusief de meest veelbelovende processen; • Opstellen van business cases voor verschillende afvalstromen en winbare grondstoffen in samenwerking met industriële partners. 		
Sector/ productgroep	Diverse industrie, waterzuivering	Kritieke grondstoffen	Lithium, koper, mangaan, vanadium, kobalt, fosfaat, boor
Partijen	Bedrijven die afvalwater produceren, leveranciers van waterzuivering en onderzoeksinstituten	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 13,5 miljoen 4 jaar

Naam	Robots en AI voor (terug)winning van kritieke grondstoffen		
Doel	Ontwikkelen van innovatieve robotica- en AI-oplossingen voor de inzameling en verwerking van afvalstromen en diepzeemijnbouw. Dit omvat vaak arbeidsintensieve of zeer precieze taken, deels in gevaarlijke omgevingen, bij het opsporen, winnen, hergebruik, recycling en herfabricage van kritieke grondstoffen. Bijvoorbeeld bij de ontmanteling van windmolenparken, schepen, vliegtuigen, batterijen of de verwerking van consumentenelektronica en ziekenhuisafval, en bij winning in de diepe oceaan. In deze context kunnen intelligente robots een cruciale rol spelen in omgaan met afvalstromen, het identificeren van componenten die potentieel waardevolle materialen bevatten en het extraheren van die materialen.		
Activiteiten	In een nader te bepalen waardeketen: 1) Robots en AI voor demontage en herfabricage van onderdelen/componenten: <ul style="list-style-type: none"> • Ontmanteling van offshore windturbines: transport, demontage, terugwinning van waardevolle componenten en onderdelen (bijv. magneten, metalen, enz.). • Groene scheeps- en vliegtuigrecycling: schepen ontmantelen, waardevolle componenten terugwinnen (bijvoorbeeld composieten, pompen, elektronica, kabels), selecteren voor revisie, selecteren voor recycling of scheiding. 2) Robots en AI voor inspectie van afval om het gehalte van kritieke grondstoffen te identificeren.		
Sector/ productgroep	Afalverwerking, batterijen, windturbines, additive manufacturing, mijnbouw, scheep-, lucht- en ruimtevaart	Kritieke grondstoffen	Lithium, kobalt, nikkel, titanium, magnesium, hafnium, niobium, vanadium, wolfram, scandium
Partijen	Nederlandse bedrijven, startups en onderzoeksinstituten	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 9,5 miljoen recycle/re-use € 7,5 miljoen zeemijnbouw 4 jaar

Cluster 4: Ondersteunende kennisprojecten

- Kritieke grondstoffen opnemen in product- en materialenpaspoorten
- Digitale infrastructuur voor management van kritieke grondstoffen
- Onderwijs, bewustwording, transitie, maatschappelijke acceptatie
- Gedragsonderzoek voor materialentransities

Naam	Kritieke grondstoffen opnemen in product- en materialenpaspoorten		
Doel	In verschillende sectoren worden digitale product- en materialenpaspoorten (DPP) ontwikkeld om producenten, consumenten en ketenpartijen inzicht in de samenstelling van de gebruikte materialen en de leveringsketens te bieden. Hierin dient ook plaats te worden ingeruimd voor kritieke grondstoffen. Hiermee verbonden zijn vragen zoals hoe stromen van kritieke grondstoffen getraceerd en beheerd kunnen worden, hoe dit te standaardiseren, en welke digitale infrastructuur nodig is om dit mogelijk te maken.		
Activiteiten	<ul style="list-style-type: none"> • Stakeholderanalyse, databehoeftanalyse • Ontwikkeling van tool om de benodigde informatie uit een digitaal ontwerp (3D BIM) te halen; • Ontwikkeling van ICT-infrastructuur om informatie over materialen per gebouw of product te registreren, te publiceren en routinematig uit te wisselen; • Onderzoek hoe overheden en bedrijven DPP kunnen gebruiken voor monitoring van circulaire economie en duurzaamheid (op macro- en macroniveau); • Ontwikkelen van publieke en publiek-private samenwerkingsmodellen om betere R-strategieën mogelijk te maken op basis van DPP-gegevens om een beter gebruik van kritieke grondstoffen mogelijk te maken. 		
Sector/ productgroep	Bouw, sloop- en recyclingbedrijven, basismetalen	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	TU Delft met bedrijven	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 1 miljoen 4 jaar

Naam	Digitale infrastructuur voor management van kritieke grondstoffen		
Doel	Ontwikkeling van een robuuste digitale infrastructuur voor bedrijven en sectoren, versterkt met geavanceerde AI, voor efficiënt en innovatief beheer van kritieke grondstoffen in de economie.		
Activiteiten	<p>Te ontwikkelen functionaliteiten zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Decision support voor end-of-life beheer van materialen om een optimaal en duurzaam gebruik van hulpbronnen te bereiken. • Prestatie- en conditiemonitoring die real-time gegevens levert voor hogere operationele efficiëntie en beter onderhoud. • AI-gestuurde oplossingen om productie-, recycling- en reparatieprocessen te optimaliseren, afval te verminderen en de kwaliteit te verhogen • Diagnose- en prognosetools voor tijdige planning van onderhoud om stilstand te voorkomen en de levensduur te verlengen. • Strategieën om de waardeketen van kritieke grondstoffen, inclusief aanbod, vraag en transport, te optimaliseren en een tijdige levering en een lagere milieu-impact te garanderen. 		
Sector/ productgroep	Windturbines, gasturbines, batterijen, lucht- en ruimtevaart, basismetalen	Kritieke grondstoffen	Nikkellegeringen, lithium, e.a.
Partijen	TU Delft met bedrijven	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 7,5 – 9 miljoen 4 jaar

Naam	Onderwijs, bewustwording en maatschappelijke acceptatie		
Doel	Ondersteunende activiteiten om de resultaten van de diverse projecten samen te brengen en te verspreiden naar een groeiende community van professionals. Het doel hiervan is om het bewustzijn over de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen te vergroten en om de handelingsperspectieven bekendheid te geven.		
Activiteiten	De doelgroep zijn lokale en nationale overheden, het bedrijfsleven, brancheorganisaties en (toegepaste) universiteiten en beroepsonderwijs. Per doelgroep zal verschillend onderwijsmateriaal worden aangeboden zoals seminars, workshops, vakopleidingen, online cursussen, congressen, onderwijspakketten en publicaties in professionele media (zoals branchebladen). Ook zullen verschillende Communities of Practice worden opgezet en er zal ondersteuning worden gegeven aan startende en groeiende bedrijven.		
Sector/ productgroep	Diverse	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	TU Delft, Hogeschool Rotterdam	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 7,5 miljoen 4 jaar

Naam		Gedragsonderzoek voor materialentransities	
Doel	Vergelijkend onderzoek naar materialentransities in het verleden om te leren hoe door gedragsverandering bij beleidsmakers, industrie, consumenten en het publiek onze afhankelijkheid van kritieke grondstoffen kan afnemen.		
Activiteiten	<p>Het project omvat drie werkpakketten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Het verzamelen en bestuderen van gegevens uit archeologische, historische en etnografische velden; scenario's ontwikkelen van de impact van materiële veranderingen op de samenleving; ontwikkeling van Social Life Cycle Assessment (S-LCA) tool, die kan worden gebruikt om de sociale gevolgen van afhankelijkheden van kritieke grondstoffen in te schatten; • Ontwikkeling van transdisciplinaire onderwijsmiddelen in co-creatie met belanghebbenden door scenario's en S-LCA toe te passen op case studies uit de andere CCRM-projecten; • Transdisciplinaire onderwijsactiviteiten voor beleidsmakers, hoger onderwijs, bedrijven en industrie (waaronder training over S-LCA) en algemeen publiek. 		
Sector/ productgroep	Diverse	Kritieke grondstoffen	Diverse
Partijen	TU Delft, RU Leiden	Omvang en duur (ordegrootte)	€ 1,1 miljoen 5 jaar

