



METAALVRAAG VAN DE NEDERLANDSE ENERGIETRANSITIE

Navigeren in een complexe keten

COLOFON



Auteurs en onderzoek

Pieter van Exter
Sybren Bosch
Branco Schipper
Mehdi El Hailouch

Graphic ontwerp

Cassie Björck

Met speciale dank aan

Dr. Benjamin Sprecher (CML)
Dr. René Kleijn (CML)

Aanleiding

Dit rapport is opgesteld in het kader van Springtij Forum 2018



INHOUDSOPGAVE

INTRODUCTIE	4
ENERGIETRANSITIE EN CIRCULAIRE ECONOMIE IN NEDERLAND	5
METAALVRAAG VOOR ONZE WINDMOLENS EN ZONNEPANELEN	7
ZELDZAME METALEN: EEN COMPLEXE KETEN	12
INZICHTEN	14
OPLOSSINGSRICHTINGEN	15
TOT SLOT	16
AANPAK	17
REFERENTIES	19

INTRODUCTIE



In 2015 is in Parijs afgesproken om de wereldwijde temperatuurstijging te beperken tot maximaal twee graden. Voor Nederland worden de nationale bijdragen op dit moment vastgelegd in een Nationaal Klimaatakkoord. Het staat vast dat er meer duurzame energie zal moeten worden geproduceerd, en dat als gevolg daarvan de productiecapaciteit voor duurzame energie zal moeten groeien. Daarbij is een belangrijke rol weggelegd voor elektriciteit. Vanuit die behoefte aan duurzame elektriciteitsproductie liggen er in Nederland vooral mogelijkheden voor zonnepanelen en windmolens.

Voor deze energietransitie, en vooral voor de snelheid die nodig is om de gestelde doelen te halen, zijn een aantal belangrijke vraagstukken die de komende periode moeten worden uitgewerkt. Daarbij gaat het onder meer over ruimtelijke uitdagingen (waar moeten we onze windmolens en zonnepanelen plaatsen?), operationele uitdagingen (waar halen we voldoende technici vandaan voor installatie en onderhoud?), en uitdagingen in de financiering (wie gaat deze duurzame energievoorziening betalen?).

Een misschien nog wel groter vraagstuk dat vaak niet de aandacht krijgt, is het materiaalvraagstuk: waar halen we de materialen vandaan voor onze productiecapaciteit van duurzame elektriciteit? Wereldwijd is er een groeiende afhankelijkheid van specifieke en zeldzame metalen, die nodig zijn voor vrijwel alle duurzame technologieën: van neodymium in windmolens tot tellurium in zonnepanelen en platinum in waterstofcellen.

In dit onderzoek willen we daarom de behoefte aan kritische en zeldzame metalen voor de productiecapaciteit van duurzame elektriciteit in Nederland inzichtelijk maken. Daarbij richten we ons voornamelijk op zonnepanelen en windmolens, die naar verwachting het grootste gedeelte van deze elektriciteit op moeten gaan wekken. Hierbij nemen we de gestelde doelen voor 2030 uit de hoofdlijnen van het Klimaatakkoord als uitgangspunt. De benodigde materialen voor accu's, bijvoorbeeld in elektrische auto's, of infrastructuur, zoals verzwaring van het elektriciteitsnet, blijven voor deze studie buiten scope: niet omdat deze niet belangrijk zijn, maar omdat harde doelstellingen ontbreken en daarmee inschattingen op dit moment nog lastig te maken zijn.

De weg naar een duurzame energievoorziening trekt ons weg uit het olietijdperk. Goed nieuws, voor iedereen die vindt dat wij minder afhankelijk moeten worden van landen die fossiele brandstoffen produceren. Wat velen niet beseffen, is dat we met de overstap naar duurzame energie een nieuw tijdperk betreden, waarbij geopolitiek minstens net zo belangrijk is: het tijdperk van de zeldzame metalen. Het onderkennen hoe weinig we weten van de nieuwe afhankelijkheden die op ons afkomen, is een belangrijke eerste stap. Aan dat bewustzijn willen we met deze publicatie bijdragen. Niet om de energietransitie te vertragen, maar juist om het succes zeker te stellen.

ENERGIETRANSITIE EN CIRCULAIRE ECONOMIE IN NEDERLAND

Nederland wordt klimaatneutraal. Althans, dat is het doel: in 2050 willen we 95% minder CO₂ gebruiken dan in 1990. In 2030 moeten we op 49-55% zitten, afhankelijk van de inzet van de rest van de Europese Unie. Dit vraagt een enorme inspanning op veel verschillende gebieden: industrie, gebouwde omgeving, landbouw, mobiliteit en de elektriciteitsvoorziening. Aan vijf tafels wordt onderhandeld tussen overheid, bedrijven en maatschappelijke partijen om te komen tot afspraken voor vergaande CO₂-reductie.

Daarnaast wordt Nederland circulair. Ook dat is immers een doel: 100% circulair in 2050, ondanks dat we nog aan het zoeken zijn wat dat betekent. In 2030 willen we in ieder geval ons primair grondstofverbruik met 50% hebben teruggebracht, zo stelt het Rijksbrede Programma Circulaire Economie. De groeiende afhankelijkheid van zeldzame metalen was daar expliciet een van de redenen voor, naast de explosieve groei in grondstofgebruik en de samenhang met CO₂-reductie. "Van de 54 kritieke materialen voor Europa, moet 90 procent worden geïmporteerd, vooral uit China. Nederland haalt 68 procent van zijn grondstoffen uit het buitenland," zo stelt het programma.¹

Deze twee transities zijn nauw met elkaar verbonden: beiden hebben tot doel om op lange termijn een houdbare, leefbare en welvarende wereld te realiseren. Tegelijkertijd lijken de twee transities in huidige discussies volledig langs elkaar heen te lopen: bij gesprekken over het klimaatakkoord komt het grondstofvraagstuk nauwelijks aan de orde, en in veel discussies over circulaire economie gaat het vooral om hergebruik van materialen nu in plaats van om het inrichten van een systeem dat onze materiaalbehoefte op lange termijn vergaand vermindert.

Elektriciteitsproductie in het Klimaat- en Energieakkoord

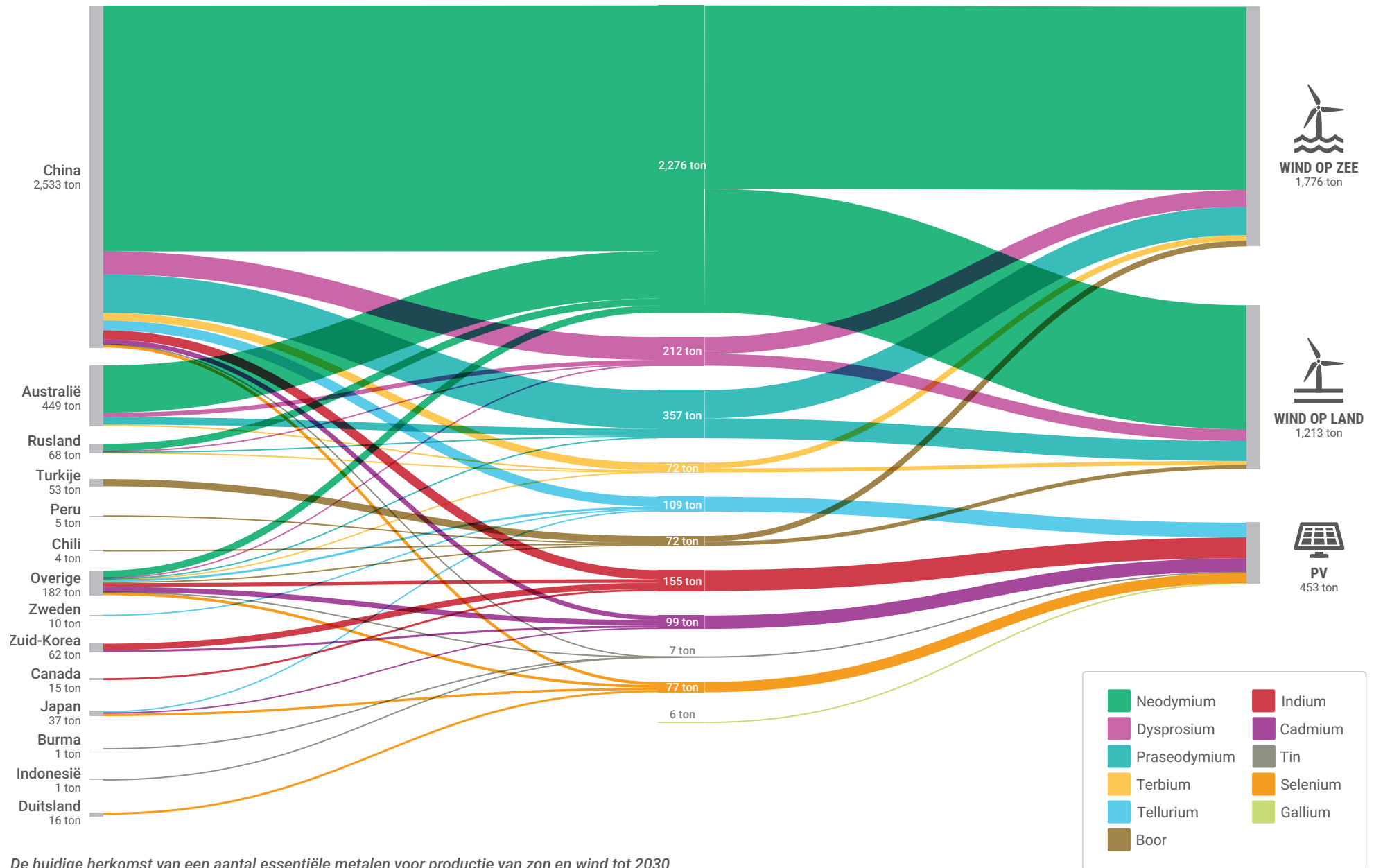
In de Hoofddijnen van het Klimaatakkoord staat opgenomen dat er in 2030 minimaal 49 TWh elektriciteit uit wind op zee moet worden geproduceerd. Dat betekent dat in er 2030 circa 1950 turbines van 6 MW op zee moeten staan. Daarnaast is er een doel van 35 TWh hernieuwbare energie op land, waarvan ook een belangrijk deel door windmolens zal moeten worden geproduceerd. Wanneer er extra elektrificatie plaats gaat vinden, bijvoorbeeld vanuit de industrie, zal het totaal van 84 TWh verder moeten groeien naar 110 TWh. Bij verdergaande emissiereductie van 49% naar 55% wordt er toegewerkt naar 120 TWh. Richting 2050 zal deze capaciteit nog verder toe moeten nemen.

Transitieagenda Maakindustrie

In de Transitieagenda Maakindustrie, opgesteld naar aanleiding van het Grondstoffenakkoord en het Rijksbrede Programma Circulaire Economie, is de leveringszekerheid van kritieke materialen een van de thema's. Men wil voor 1 januari 2019 zowel een inschatting hebben gemaakt van de toekomstige vraag naar schaarse grondstoffen, als een meerjarenprogramma hebben ontwikkeld voor de substitutie van deze grondstoffen. Daarbij wordt ingezet op samenwerking met andere Europese landen.

Bij het inrichten van onze maakindustrie is het belangrijk om te realiseren dat Nederland vaak componenten invoert. De zeldzame metalen zitten hier vaak al in verwerkt. Voor de productie van deze onderdelen zijn en blijven we dus voorlopig afhankelijk van landen waar de componenten worden geproduceerd – in het geval van windmolens en zonnepanelen is dat vaak China.





De huidige herkomst van een aantal essentiële metalen voor productie van zon en wind tot 2030

METAALVRAAG VOOR ONZE WINDMOLENS EN ZONNEPANELEN

HERKOMST VAN ONZE METALEN

Dit diagram toont hoeveel zeldzame metalen er tot 2030 nodig zijn om de gestelde doelen in het Klimaatakkoord te realiseren. De linkerkant van het diagram laat zien waar de verschillende metalen op dit moment vandaan komen. De rechterkant laat de totale materiaalbehoefte voor zon en wind tot 2030 zien.

Conclusies

- Voor de levering van verschillende metalen in zonnepanelen en windturbines is Nederland volledig afhankelijk van andere landen buiten Europa, voornamelijk China.
- Niet alleen bevindt het merendeel van de huidige productie zich in China, het land heeft ook een grote variëteit aan metalen die er geproduceerd worden.
- Australië en Rusland zijn twee andere belangrijke landen voor de productie van metalen voor de energietransitie.

Methode

Vanuit de duurzame elektriciteitsproductie in 2030 is de benodigde capaciteit (in GW) bepaald. Die capaciteit is vertaald naar een metaalbehoefte, waarvan de herkomst is bepaald. Voor beide stappen zijn verschillende bronnen gebruikt.

Zowel windmolens als zonnepanelen zijn opgebouwd uit veel verschillende materialen. Ieder metaal heeft een eigen, unieke functie, die maakt dat de zonnepanelen en windmolens op een zo goed mogelijke manier werken. In totaal hebben we 24 verschillende metalen meegenomen en op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek gekeken naar de hoeveelheden die er nodig zijn voor elk metaal.

Voor het realiseren van de gestelde productiecapaciteit in 2030 zijn tussen de 3,2 en 4,5 miljoen ton aan metalen nodig. Voor de eindsituatie in 2050 schatten we een behoefte van tussen de 11,8 en 16,4 miljoen ton. Het overgrote deel hiervan, zo'n 87%, is staal en ijzer voor de fundering, de schacht en de wieken van de windmolens. Ter illustratie: Tata Steel in IJmuiden produceert bijna 7 miljoen ton staal per jaar. Daarnaast zijn silicium, koper, lood en zink elementen waarvan we relatief veel nodig gaan hebben. Van deze materialen hebben we echter voldoende voorraad: we gebruiken deze immers al eeuwenlang in grote hoeveelheden.

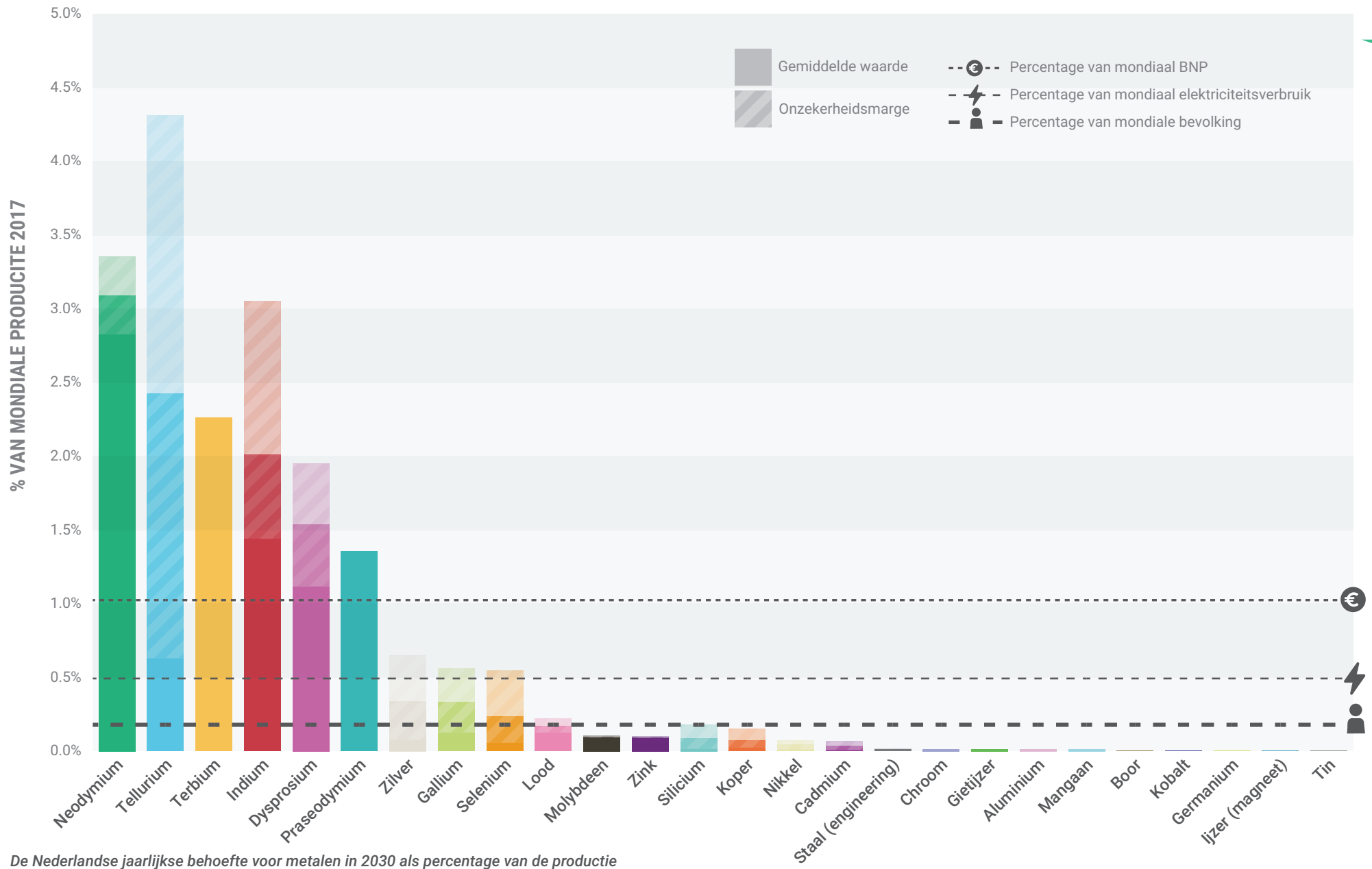
Van de toegepaste materialen zijn er elf kritische materialen, die we in relatief grote hoeveelheden nodig gaan hebben wanneer we dit vergelijken met de wereldproductie. Daarom kijken we naar de jaarlijkse behoefte van deze materialen voor onze productie van zonnepanelen en windmolens, en naar de jaarlijkse wereldwijde productie van deze materialen. Dit onderzoek richt zich op drie verschillende aspecten:

1. **Herkomst:** Waar komen de zeldzame metalen die we nodig hebben, vandaan?
2. **Budget:** Hoeveel van die zeldzame metalen hebben we nodig, ten opzichte van de rest van de wereld?
3. **Technologieën:** Welke zeldzame metalen worden er gebruikt in technologische innovatie voor zon- en windenergie?

Ook andere producten hebben deze zeldzame metalen nodig

De zeldzame metalen die nodig zijn voor zon en wind, kennen ook andere toepassingen. Neodymium, dysprosium en praseodymium zijn bijvoorbeeld cruciaal in elektrische voertuigen en energieopslag, twee toepassingen die samen met hernieuwbare energie sterk gaan toenemen in gebruik. Daarnaast wordt neodymium gebruikt in allerlei elektronica, zoals harde schijven en luidsprekers. Indium wordt in de vorm van ITO (Indium Tin Oxide) in zonnecellen gebruikt, maar heeft ook vele andere toepassingen in bijvoorbeeld beeldschermen en touchscreens van smartphones.

Deze andere toepassingen zitten niet verwerkt in de berekeningen in dit rapport, terwijl het cruciaal is om ook deze metaalbehoefte mee te nemen in het bepalen van een jaarlijks budget. Wanneer het gebruik van deze metalen voor andere toepassingen wordt meegenomen, wordt nog duidelijker dat de beschikbaarheid op termijn kritisch wordt. Concurrentie tussen verschillende toepassingen, en daarmee tussen bedrijven en landen, lijkt daarmee op termijn onontkoombaar.



De Nederlandse jaarlijkse behoefte voor metalen in 2030 als percentage van de productie

EEN BUDGET VOOR NEDERLAND?

Dit figuur laat zien hoe de jaarlijkse vraag naar metalen voor windmolens en zonnepanelen zich verhoudt tot de huidige wereldwijde jaarproductie. De gestreepte zwarte lijnen geven drie mogelijke 'budgetten' aan voor Nederland, op basis van ons:

1. Bruto Nationaal Product	(1.02%)
2. Elektriciteitsverbruik	(0.49%)
3. Bevolkingspercentage	(0.23%)

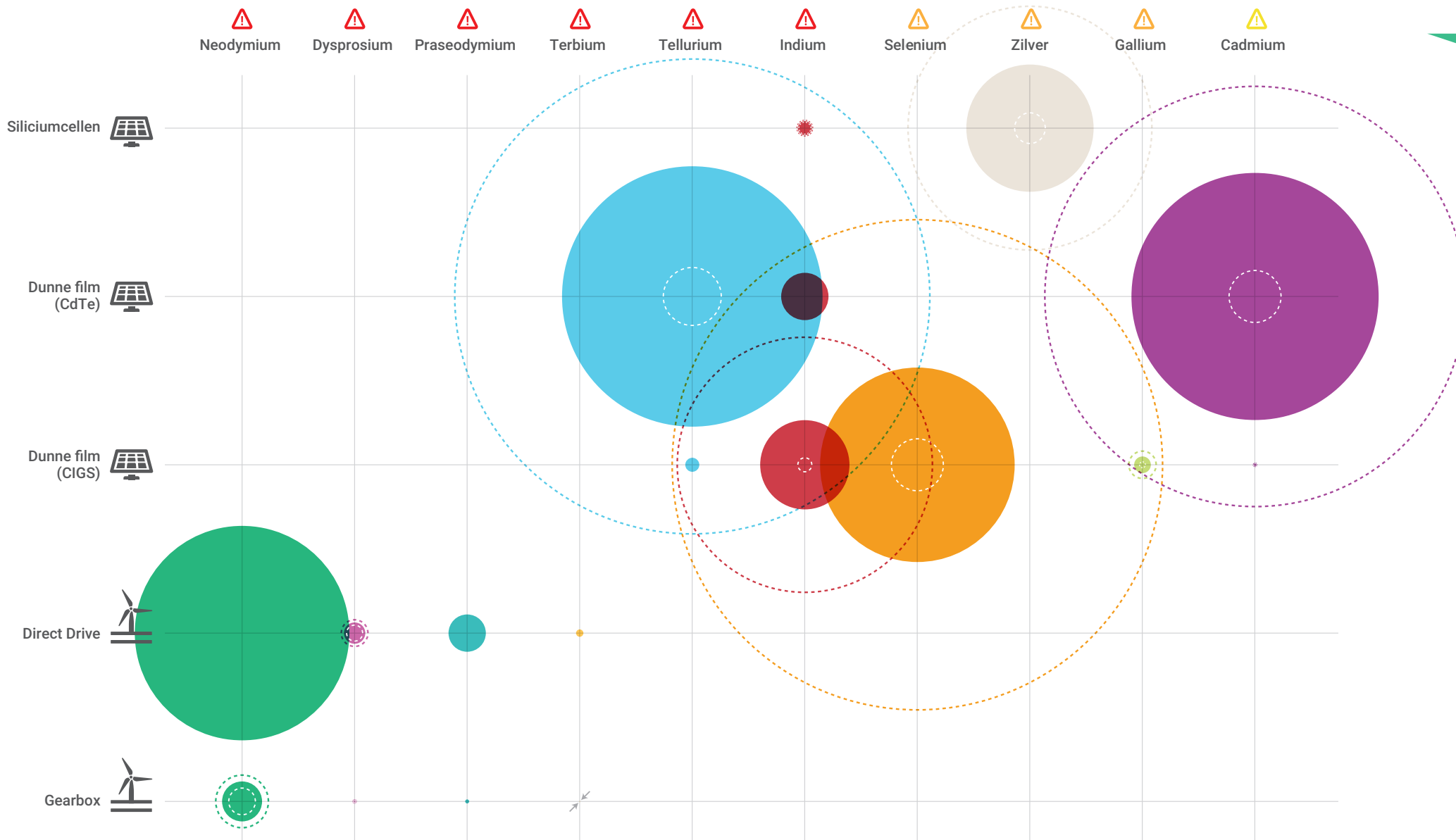
Conclusies

- De waarden van zes metalen liggen ver boven de budgetten waar wij - ten opzichte van de rest van de wereld - recht op zouden hebben
- Voor Neodymium hebben we tot wel 3% van de huidige wereldwijde productie per jaar nodig
- Als de rest van de wereld in het Nederlandse tempo productiecapaciteit voor duurzame elektriciteit wil installeren, ontstaat er voor enkele metalen een flink tekort

Methode

Op basis van de doelen in 2030 is de jaarlijks te installeren capaciteit voor wind en zon bepaald. De hiervoor benodigde metalen zijn uitgezet tegen de jaarlijkse productie van deze metalen.





De metaalbehoefte per technologie voor de meest cruciale metalen

--- Onzekerheidsmarge >1% van mondiale productie >0.20% van mondiale productie >0.025% van mondiale productie

TECHNOLOGISCHE INNOVATIE

Voor elektriciteitsproductie uit zon en wind zijn er verschillende technologieën beschikbaar. Iedere technologie heeft een eigen metaalbehoefte. Dit figuur laat zien hoeveel metaal er voor de meest gangbare technologieën nodig is. De stippelijntjes geven de extreme waarden (zowel laag als hoog).

Conclusies

- Nieuwe technologieën hebben vaak een hogere efficiëntie en zijn goedkoper, maar maken een sterkere aanspraak op kritieke metalen
- Dunne film cadmium-tellurium zonnepanelen hebben volgens LCA-studies de beste prestaties op gebied van CO₂-uitstoot en energie-terugverdientijd, maar tellurium is een van de meest zeldzame metalloïden
- Voor windturbines is het verschil zichtbaar tussen Direct-drive windmolens, die gebruik maken van grote sterke permanente magneten, en windmolens met een gearbox (schakelkast)

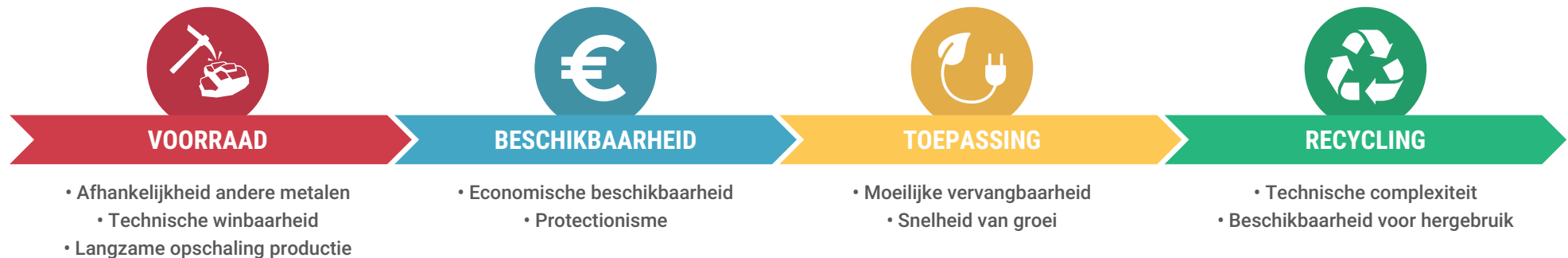
Methode

Voor elke technologie is de gemiddelde metaalvraag per kWh elektriciteitsproductie berekend. Daarvoor zijn de verwachte levensduur en de vollasturen verrekend met de metaalvraag per technologie.



ZELDZAME METALEN: EEN COMPLEXE KETEN

Bij het doen van uitspraken over zeldzame metalen, hun beschikbaarheid en hun toepassing, is één ding duidelijk: de onzekerheden zijn groot. Er is veel dat we nog niet weten rondom de ontwikkeling van zowel het aanbod van als de vraag naar specifieke zeldzame metalen. Deze onzekerheid zit op verschillende delen van de keten: de voorraad, de beschikbaarheid, de materiaalbehoefte en de recycling. Per stap vatten wij de belangrijkste factoren in deze onzekerheid samen.



Onzekerheid in voorraad

De voorraad van zeldzame metalen is niet altijd duidelijk, en afhankelijk van meerdere factoren.

- **Afhankelijkheid van andere metalen:** Een aantal zeldzame metalen kunnen alleen worden gewonnen in combinatie met andere, meer reguliere metalen. Zonder de winning van deze reguliere metalen is winning van de zeldzame metalen economisch niet rendabel. Ter illustratie: tellurium is bijvoorbeeld een bijproduct bij het zuiveren van koper.
- **Technische winbaarheid:** Soms zijn zeldzame metalen wel beschikbaar in de aardkorst, maar zijn deze zo verspreid dat de lage concentraties het vrijwel onmogelijk maken om dit grootschalig te winnen. Daarnaast is de winning in dat geval uitermate energie-intensief. Ter illustratie: titanium is het 9e

meest beschikbare element in de aardkorst, maar is zo verspreid, dat dit nauwelijks te winnen is.

- **Langzame opschaling productie:** Opschaling van productie is niet zo eenvoudig als het lijkt. Het openen van een nieuwe mijn duurt lang: typisch zo'n 10 jaar, vanaf eerste onderzoek tot eerste productie. Bij een snel groeiende vraag kan het aanbod dus niet snel worden verhoogd. De lange doorlooptijd heeft zowel te maken met vooronderzoek, als met vergunningen op onder meer milieugebied.



Onzekerheden in beschikbaarheid

Los van de voorraad van zeldzame metalen, moeten deze ook beschikbaar zijn om te worden toegepast. Ook in de wereldwijde beschikbaarheid zijn er een aantal belangrijke factoren:

- **Economische beschikbaarheid:** De voorraden naar zeldzame metalen zijn mede afhankelijk van de prijs van deze metalen op de wereldmarkt. Wanneer de prijs stijgt, zal ook de voorraad stijgen omdat bepaalde voorraden economisch winbaar worden. Daarnaast is er een levendige zwarte markt, die zorgt voor onvoorspelbare prijzen met hoge pieken en diepe dalen.
- **Protectionisme:** Wereldwijd is China de dominerende speler in de beschikbaarheid van zeldzame aardmetalen. Het land legt in toenemende mate de export van materialen aan banden, om meer industrie te trekken die deze materialen omzet in toepasbare producten. De exportwaarde van deze producten is immers vele malen hoger dan de exportwaarde van enkel de materialen.



Onzekerheden in materiaalbehoefte voor toepassing

De behoefte aan vrijwel alle zeldzame metalen groeit, als gevolg van de brede toepassing van deze materialen in producten die wij van onze wereld vragen. Deze groei vindt primair plaats in drie typen toepassingen: elektronica (zowel voor consumenten als in de openbare ruimte), militaire toepassing (zowel in technische doorontwikkeling als in aantallen producten) en toepassingen voor een duurzame energievoorziening. Twee factoren bepalen, specifiek voor duurzame energietechnologie, het grootste deel van de onzekerheid:

- **Moeilijke vervangbaarheid:** Zeldzame metalen hebben unieke eigenschappen. Dat maakt dat de meeste zeldzame metalen lastig te vervangen zijn voor de specifieke toepassing waar zij voor gebruikt worden: het periodiek systeem kent immers zijn grenzen. Daarnaast is onderzoek naar het vervangen van specifieke zeldzame metalen vaak kostbaar en tijdrovend (decennia), waarbij het alternatief waarschijnlijk een ander zeldzaam metaal is.
- **Snelheid van groei:** Het is onduidelijk hoe snel de toepassing van duurzame energietechnologieën gaat groeien in de komende jaren. Bij een snelle groei, wat wenselijk is vanuit het reduceren van CO₂-emissies, kan het zo zijn dat de productiecapaciteit van mijnen en fabrikanten de groeiende materiaalbehoefte niet aan kan. Bij een langzame maar gestage groei heeft de productiecapaciteit tijd om mee te groeien, maar hebben we langer behoefte aan fossiele energiebronnen.



Onzekerheden in recyclebaarheid

Recycling van zeldzame metalen lijkt de oplossing om de beschikbare voorraad aan te vullen en te voldoen aan de groeiende behoefte. Er zijn twee belangrijke factoren die de onzekerheden van recycling bepalen:

- **Technische complexiteit:** De technische complexiteit van recycling van materialen is hoog. De materialen zijn vaak op een onlosmaakbare manier aan elkaar verbonden, en vermengd met andere materialen om de juiste eigenschappen te creëren voor de functie van het materiaal. Ter illustratie: de wereldwijde koploper in recycling, het Belgische Umicore, slaagt er bijvoorbeeld bij een telefoon niet in om meer dan 8 van de 25 zeldzame metalen terug te winnen voor hergebruik. De andere materialen gaan daarbij verloren.
- **Beschikbaarheid voor hergebruik:** Materialen moeten beschikbaar zijn voor hergebruik om een recyclingproces te kunnen doorlopen. Immers: zolang de producten waar de materialen in zitten in gebruik zijn, kunnen deze nog niet gerecycled worden. Omdat we voorlopig veel meer windmolens en zonnepanelen installeren dan weghalen, blijft de beschikbaarheid van materialen voor recycling voorlopig nog laag.



INZICHTEN

Vanuit de complexiteit die het gebruik van zeldzame metalen met zich meebrengt, zijn er drie inzichten die belangrijk zijn om mee te nemen in beleid en besluitvorming.

1. Gebruik van zeldzame metalen bespaart energie

De toepassing van zeldzame metalen en de energietransitie zijn nauwer verbonden dan het op het eerste oog lijkt. De crux: de toepassing van zeldzame metalen verhoogt de efficiëntie van producten, en bespaart daarmee energie. Voorbeelden zijn overal om ons heen te vinden:

- De toevoeging van Niobium versterkt staal, waardoor minder staal nodig is voor dezelfde draagkracht.
- Het gebruik van neodymium en dysprosium in permanente magneten van windmolens maakt generatoren efficiënter, omdat er geen elektriciteit nodig is om een magnetisch veld op te wekken.
- De toepassing van indium, gallium en selenium is nodig om LED-lampen te laten werken, die weer zorgen voor een lager energieverbruik voor onze verlichting.

Wanneer we alleen sturen op het reduceren van CO₂-emissies, lijkt de toepassing van zeldzame metalen heel verstandig: we besparen zowel in de productiefase doordat we minder materiaal hoeven te produceren, als in de gebruiksfase doordat we minder energie nodig hebben.

Wanneer we echter ook onze geopolitieke afhankelijkheid van zeldzame metalen willen beperken, hebben we meer energie-intensieve producten nodig hebben. Een dilemma, dat niet eenvoudig op te lossen is.

2. Met beperkte beschikbaarheid en één dominante speler verdwijnt de vrije markt

Op dit moment lijken de voorraden zeldzame metalen relatief goed aan de vraag te kunnen voldoen. De belemmering zit niet zo zeer in de hoeveelheid die er van een metaal is, maar in de jaarlijkse productie van dat metaal. Het snel kunnen opschalen van productie bij een stijgende vraag - een principe dat ten grondslag ligt aan neoklassieke economie - gaat hier dus niet op.

China is op dit moment wereldwijd de dominante speler in de productie van zeldzame metalen, en die dominantie groeit. Het land heeft de afgelopen jaren structureel de economische waarde van deze metalen vergroot: eerst heeft zij de productie van de grondstoffen geïnternaliseerd, vervolgens de productie van de metalen uit deze grondstoffen, en nu internaliseert zij de productie van componenten uit deze metalen.

In de komende jaren gaat niet alleen in Europa, maar ook in andere delen van de wereld de behoefte naar fossielvrije elektriciteitsproductie stijgen. Als gevolg daarvan stijgt ook de vraag naar zeldzame metalen. Krijgen wij nog wat we willen hebben wanneer de vraag groter is dan de beschikbaarheid, en één dominante speler bepaalt aan wie hij zijn producten verkoopt?

3. Onze afhankelijkheid neemt ieder jaar verder toe

Het verbruik van zeldzame metalen blijft razendsnel groeien. Dit is het beste zichtbaar in consumentenelektronica, maar geldt ook voor militaire toepassingen en technische apparatuur. De groei van de wereldwijde middenklasse van 1 miljard naar 3 miljard mensen gaat dit verbruik nog verder versnellen. Materiaalstromen uit hergebruik zijn daarbij vooralsnog beperkt: veel producten waar zeldzame metalen in verwerkt zitten, zijn simpelweg nog in gebruik. Dat maakt dat de afhankelijkheid vanuit de productie van bestaande zeldzame metalen voorlopig blijft bestaan.

Daarnaast worden over de hele wereld nieuwe technologieën ontwikkeld, die uniek zijn in hun functionaliteit. Een probleem: vaak bevatten deze technologieën zeldzame metalen, die lastig te winnen zijn. Hier wordt vaak nauwelijks rekening mee gehouden. Daardoor creëren we nieuwe afhankelijkheden, vaak van nieuwe metalen, waarbij de leveringszekerheid op lange termijn lastig in is te schatten.

OPLOSSINGSRICHTINGEN

De toepassing van zeldzame metalen is erg complex: zoveel is inmiddels duidelijk. Noch technisch, noch geopolitiek is er een eenvoudige oplossing. Toch zijn er een aantal oplossingsrichtingen waarmee we onze afhankelijkheid van andere landen kunnen beperken, of in ieder geval niet verder toe laten nemen.

1. Pas circulaire ontwerpprincipes toe bij windmolens en zonnepanelen

Door de inzet op circulaire ontwerpprincipes kan de levensduur van windmolens en zonnepanelen worden geoptimaliseerd en kunnen componenten (en metalen) hoogwaardig worden hergebruikt.

Dit vraagt om onderlinge losmaakbaarheid van de verschillende componenten in het ontwerp. Enerzijds maakt dit levensduurverlenging mogelijk door eenvoudige reparatie en upgrades, anderzijds maakt dit hoogwaardig hergebruik mogelijk omdat componenten aan het einde van de functionele levensduur van een zonnepaneel of windmolen kunnen worden opgeknapt en hergebruikt. Laagwaardige recycling, waarbij een deel van de metalen verloren gaat, is dan niet nodig.

2. Ontwikkel nieuwe technologieën die minder afhankelijk zijn van kritische metalen

Door bij innovaties te sturen op het minimaliseren van het gebruik van zeldzame metalen, voorkomen we nieuwe afhankelijkheden. Ook maakt dit deze nieuwe technologieën beter geschikt voor toekomstige opschaling.

Hiervoor zijn criteria nodig om innovatieve technologieën te beoordelen op het gebruik van zeldzame metalen. Toepassing hiervan is niet altijd uit te sluiten vanwege specifieke functies van bepaalde metalen: in dat geval is het belangrijk om de noodzakelijke hoeveelheid van deze metalen te minimaliseren.

3. Zet in op onderzoek naar hoogwaardig hergebruik van zeldzame metalen

Het hergebruik van zeldzame metalen staat nog in de kinderschoenen. Hoogwaardig hergebruik kan onze afhankelijkheid van nieuwe bronnen op termijn sterk verminderen: de windmolens en zonnepanelen die nu geïnstalleerd worden, zijn de mijn van de toekomst.

Op dit moment is hergebruik vaak nog relatief laagwaardig. Het Belgische Umicore is nu wereldmarktleider in de recycling van deze zeldzame metalen, maar er zijn nog veel stappen te zetten naar meer hoogwaardig hergebruik. Daarbij gaat het vooral om het verhogen van de zuiverheid van de teruggewonnen materialen, en het energieverbruik dat gerelateerd is aan deze terugwinning.

4. Zet in op de ontwikkeling van Europese mijnbouwindustrie

Ondanks dat zeldzame metalen momenteel nauwelijks worden gewonnen in Europa, zijn er wel Europese reserves: onder meer in Groenland en Zweden. Ook daar ontstaat een dilemma: ontwikkeling van deze reserves heeft een impact op het milieu en de lokale omgeving,

maar kan wel bijdragen aan het realiseren van een duurzame energievoorziening zonder afhankelijkheid van niet-Europese voorraden.

Kvanefjeld (Groenland) zou jaarlijks 31.000 ton zeldzame aardoxiden (REO) kunnen leveren, voor een periode van ruim 33 jaar. Ter vergelijking: de huidige jaarlijkse wereldwijde REO-winning is 130.000 ton. Deze mijn bevat voornamelijk lichte zeldzame aardmetalen (LREE), zoals Neodymium, maar waarschijnlijk ook Uranium en Zink. Nora Kärr (Zweden) zou jaarlijks 6800 ton REO kunnen leveren, waarvan 3600 ton zware zeldzame aardmetalen (HREE).² Deze mijn kan mogelijk tot 15% van de jaarlijkse globale hoeveelheid Dysprosium gaan produceren.³

Deze mijnen bevinden zich op dit moment in de ontwikkelingsfase: het kan daarom nog enkele jaren duren voordat deze mijnen in productie zijn. Daarbij is het belangrijk om niet alleen de grondstoffen te delven, maar ook een industrie te ontwikkelen om deze grondstoffen te zuiveren en te verwerken tot metalen: ook dat gebeurt op dit moment voor het overgrote deel in China.

TOT SLOT



Om de doelstellingen voor duurzame elektriciteitsproductie uit het Klimaatakkoord waar te maken, hebben we voor zes zeldzame metalen een flink percentage van de huidige wereldwijde jaarproductie nodig. Het feit dat deze metalen binnen Europa nauwelijks beschikbaar zijn, maakt onze energietransitie kwetsbaar. Terwijl we bezig zijn met het afbouwen van onze afhankelijkheid van Arabische olie, creëren we tegelijkertijd een nieuwe afhankelijkheid: van Chinese metalen.

Met die afhankelijkheid ontstaat een risico op toekomstige conflicten, die voortkomen uit schaarste van deze metalen. Dat risico neemt verder toe wanneer ook andere niet-Europese landen in gaan zetten op een duurzame elektriciteitsproductie vanuit zon en wind. Omdat we nog in een vroege fase van de energietransitie zitten, kunnen we nu nog stappen zetten om onze afhankelijkheid te beperken.

Rondom zeldzame metalen is er vooral nog veel dat we niet weten. En dat is positief: door actief in te zetten op technisch onderzoek op dit vlak, kunnen we ons gaan onderscheiden. Door niet alleen een duurzame elektriciteitsvoorziening te realiseren, maar door die elektriciteitsvoorziening zelf hernieuwbaar te maken. We kunnen nieuwe economische activiteiten ontwikkelen, en daarmee vanuit Nederland de leiding nemen in het realiseren van een circulaire economie voor zeldzame metalen.

AANPAK

Voor dit onderzoek zijn er vier onderwerpen waar berekeningen voor zijn gedaan en uitgangspunten voor zijn bepaald:

- Toekomstige productiecapaciteit duurzame elektriciteit
- Technologiemix zon en wind
- Huidige productie zeldzame metalen
- Benodigde zeldzame aardmetalen

Bij het schrijven van dit onderzoek hebben René Kleijn en Benjamin Sprecher, onderzoekers van de Universiteit Leiden, meegelezen.

Toekomstige productiecapaciteit duurzame elektriciteit

Voor de toekomstige productiecapaciteit van duurzame elektriciteit zijn we uitgegaan van de doelstellingen uit de Hoofdlijnen voor het Klimaatakkoord: 49 TWh wind op zee, en 35 TWh hernieuwbaar op land (uitgesplitst naar wind en zon).

Op basis van vollasturen zijn de doelstellingen omgezet naar benodigde productiecapaciteit:

- 4200 vollasturen voor off-shore wind
- 2500 vollasturen voor on-shore wind
- 875 vollasturen voor PV

Op basis van de vollasturen is bepaald hoeveel geïnstalleerde capaciteit er in 2030 nodig is. Voor de jaarlijks te installeren capaciteit zijn we uitgegaan van

een lineaire groei van 2018 tot 2030. Startpunt bij die berekening is de geïnstalleerde capaciteit eind 2017. De berekende jaarlijkse capaciteit is opgenomen in tabel 1.

Tabel 1: Aannames geïnstalleerde capaciteit in GW wind en PV in Nederland

	2017	2030	2050
Off-shore wind	1	11,7	28,2
On-shore wind	3,2	7,2	16,8
PV	2	19,5	48,0

Technologiemix

Voor zowel wind als voor zon zijn er verschillende technologieën beschikbaar, waarbij de metaalbehoefte per GW per technologie enorm verschilt. Voor dit onderzoek zijn we uitgegaan van de technologiemix in tabel 2, op basis van een soortgelijk Duits onderzoek.⁴

Tabel 2: Aannames technologiemix per technologie in Nederland

PV		OFF-SHORE WIND		ON-SHORE WIND		
C-Si	CdTe	CIGS	PM-DD	PM-Gearbox	PM-DD	PM-Gearbox
90%	5%	5%	30%	70%	45%	55%

De ontwikkeling van deze technologiemix is lastig te voorspellen. Dit geldt vooral voor wind: zowel de gearbox (GB) als de Direct Drive (DD) hebben sterke en zwakke punten.⁵

- DD generatoren zijn waarschijnlijk betrouwbaarder en hebben minder onderhoud nodig hebben, maar dit is nog niet bewezen.
- Gearbox generatoren op zich zijn efficiënter dan DD generatoren en zijn daarom uitvoeriger onderzocht en geoptimaliseerd.
- Het verschil in efficiëntie bij verschillende windsnelheden is klein en daarom niet doorslaggevend voor het bepalen van een toekomstige verhouding tussen de verschillende technologieën.

Metaalbehoefte per technologie

Voor het berekenen van de materiaalbehoefte is er een literatuurstudie gedaan naar de metaalbehoefte per GW. Hierbij is gebruik gemaakt van verschillende onderzoeken.^{4,6-15} Op basis van de waarden uit deze onderzoeken is een lage, een hoge en een gemiddelde waarde berekend. In de resultaten wordt uitgegaan van de gemiddelde waarde, waarbij de marges zijn aangegeven. In het onderzoek zijn 25 verschillende metalen meegenomen.

Huidige productie zeldzame metalen

Voor de productie van metalen baseren we ons op de rapporten van het United States Geological Survey (USGS). Voor een aantal zeldzame metalen is onderzoek van Månberger & Stenqvist (2018) gebruikt.¹⁰

Definities

Metalen worden in veel categorieën ingedeeld: voornamelijk op basis van chemische eigenschappen, maar ook op prijs en veelvoorkomendheid. In dit onderzoek kiezen we voor de term zeldzame metalen (niet te verwarren met zeldzame aardmetalen): dit is geen groep op zich, maar een verzamelnaam van de lastig vindbare of winbare metalen. In het figuur hiernaast wordt aangegeven welke metalen zijn onderzocht en de groep waarin ze toebehoren.

Zeldzame aardmetalen (REM)

Deze groep is niet zo zeer zeldzaam, maar wel lastig te scheiden, omdat deze metalen bij elkaar voorkomen en overeenkomende eigenschappen hebben.

Er zijn een aantal definities voor zeldzame aardmetalen die voornamelijk in de mijnindustrie worden gebruikt. Hier de belangrijkste:

REO = rare-earth oxides

LREE = Light rare-earth elements

HREE = Heavy rare-earth elements

Metalloïde

Metalloïde zijn metaalachtige elementen die tussen metaal en non-metaal inzitten. De precieze grens is niet vastgelegd, maar elementen die meestal worden geaccepteerd als metalloïde zijn:

Boor (B), Silicium (Si), Germanium (Ge), Arseen (As), Antimoon (Sb) en Tellurium (Te). Selenium (Se) en Polonium (Po) worden minder vaak gezien als onderdeel van deze groep.

Legend for element groups:

- Niet-metalen (Grey)
- Alkalimetalen (Yellow)
- Aardalkalimetalen (Orange)
- Overgangsmetalen (Purple)
- Metalen (Green)
- Metalloïden (Light Green)
- Halogenen (Cyan)
- Edelgassen (Blue)
- Actiniden (Red)
- Zeldzame aardmetalen (Pink)

Red outline highlights the following elements: B, Si, Ge, As, Sb, Te.

Periodiek systeem der elementen. De rode omlijsting geeft weer welke elementen zijn meegenomen in de studie.

REFERENTIES

1. **Rijksoverheid**, 2016. Nederland circulair in 2050.
2. **Eurare**, 2017. Development of a sustainable exploitation scheme for Europe's REE ore deposits: European REE market survey.
3. **Leading Edge Materials**, 2015. Norra Karr REE Project. <https://leadingedgematerials.com/norra-karr/>
4. **Viebahn, P., Soukup, O., Samadi, S., Teubler, J., Wiesen, K., Ritthoff, M.**, 2015. Assessing the need for critical minerals to shift the German energy system towards a high proportion of renewables. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 49, 655–671. doi:10.1016/j.rser.2015.04.070
5. **Polinder, H., Ferreira, J.A., Jensen, B.B., Abrahamsen, A.B., Atallah, K., McMahon, R.A.**, 2013. Trends in wind turbine generator systems. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 1, 174–185. doi:10.1109/JESTPE.2013.2280428
6. **World Bank Group, EGPS**, 2017. The growing role of minerals and metals for a low carbon future.
7. **Kavлак, G., McNerney, J., Jaffe, R.L., Trancik, J.E.**, 2015. Metal production requirements for rapid photovoltaics deployment. *Energy Environ. Sci.* 8, 1651–1659. doi:10.1039/c5ee00585j
8. **Moss, R.L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., Kooroshy, J.**, 2011. Critical Metals in Strategic Energy Technologies, JRC-scientific and strategic reports, European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. doi:10.2790/35600
9. **Davidsson, S., Höök, M.**, 2017. Material requirements and availability for multi-terawatt deployment of photovoltaics. *Energy Policy* 108, 574–582. doi:10.1016/j.enpol.2017.06.028
10. **Månberger, A., Stenqvist, B.**, 2018. Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. *Energy Policy* 119, 226–241. doi:10.1016/j.enpol.2018.04.056
11. **Fthenakis, V., Zweibel, K.**, 2003. CdTe PV: Real and Perceived EHS Risks. *Natl. Cent. Photovoltaics Sol. Progr. Rev. Meet.* 1–3.
12. **Burton, M.**, 2015. China push into solar, wind power to heat up global copper markets. Reuters.
13. **Janssen, L.G.J., Arántegui, R.L., Brøndsted, P., Gimondo, P., Klimpel, A., Johansen, B.B., Thibaux, P.**, 2012. Scientific Assessment in support of the Materials Roadmap enabling Low Carbon Energy Technologies. Wind Energy, Publications Office of the European Union. doi:10.2790/42568
14. **Elshkaki, A., Graedel, T.E.**, 2013. Dynamic analysis of the global metals flows and stocks in electricity generation technologies. *J. Clean. Prod.* 59, 260–273. doi:10.1016/j.jclepro.2013.07.003
15. **Kleijn, R., Van Der Voet, E.**, 2010. Resource constraints in a hydrogen economy based on renewable energy sources: An exploration. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 2784–2795. doi:10.1016/j.rser.2010.07.066



+31 (0) 203690977
info@metabolic.nl
www.metabolic.nl

Meteorenweg 280M
1035RN Amsterdam
The Netherlands



+31 (0) 202610289
info@copper8.com
www.copper8.com

100 Watt gebouw, 8e etage
James Wattstraat 100
1097 DM Amsterdam