

*Onderwerp*

Beantwoording Motie 7 - Stimuleer gebruik van recyclebare zonnepanelen en recycling van afgedankte panelen.
Nummer Statenvoorstel: 2848145.

Kern mededeling:

Op 22 december 2021 heeft Provinciale Staten motie 7 aangenomen, waarin Ge-deputeerde Staten wordt verzocht te onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen om het gebruik van recyclebare zonnepanelen met een lange levensduur te stimuleren en faciliteren, te onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen aan de recycling of hergebruik van oude zonnepanelen en de uitkomsten van deze onderzoeken te delen met de staten vóór de behandeling van de perspectiefnota.

Mededeling:

De motie is beantwoord in een memo met bijlagen – zie onder Bijlagen.

Bijlagen:

Naam bijlage:	eDocs nummer:	Openbaar in de zin van de Woo (ja/nee aangeven)
De beantwoording van de motie	2999696	Ja
De motie	2895905	Ja
Inkoopbeleid provincie Flevoland (2017)	2030600	Ja
Rapport "Circulariteit van windenergie in Zuid-Holland - Wat is de rol van provincie Zuid-Holland bij circulariteit van windenergie?"	2922103	Ja
IPO- Brief St. OPEN	2949288	Ja
Rapport 'Materiaalvraag van de energietransitie', juni 2021, mede door provincie Flevoland gefinancierd	2953741	Ja

Registratienummer

3028238

Datum

1 februari 2023

Afdeling/Bureau

SENB

Openbaarheid

Openbaar

Portefeuillehouder

Appelman, J.N.J. / Van Gaal, G.

Lijst ingekomen stukken

Provinciale Staten

22 februari 2023



Registratienummer:
2999696

2999696

Datum
12 oktober 2022

Aan

Afdeling
CZ

Van

Doorkiesnummer

Betreft

Beantwoording Motie 7 - circulariteit zonnepanelen

Afschrift

Opmerkingen

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 - Inleiding	2
1.1 Motie en beantwoording	2
1.2 Beleid	3
Hoofdstuk 2 - Inkoop	4
2.1 Ambitie circulair inkopen	4
2.2 Inkoopbeleid provincie Flevoland	4
2.3 Conclusie Inkoop	5
Hoofdstuk 3 - Hergebruik – stimulerende rol	5
3.1 Belang recycling zonnepanelen	5
3.2 Stimuleren / faciliteren recycling door provincie Flevoland	6
3.2.1 Roadmap Stichting OPEN	6
3.2.2 Marktinitiatief 'Zonnige toekomst'	7
3.2.3 Horizon Flevoland	7
3.2.4 Lobby	7
3.2.5 Voucher- en subsidieregeling CE 2022/23	7
3.3 Conclusie Stimulerende rol hergebruik	8
Hoofdstuk 4 - Hergebruik – initiërende rol	8
4.1 Conclusie Initiërende rol hergebruik panelen	9

Bijlagen

#2916752 De motie waarover dit memo gaat
#2030600 Inkoopbeleid provincie Flevoland (2017)

- #2922103 Rapport "Circulariteit van windenergie in Zuid-Holland - Wat is de rol van provincie Zuid-Holland bij circulariteit van windenergie?"
- #2949288 IPO-brief aan St. OPEN
- #2953741 Rapport 'Materiaalvraag van de energietransitie', juni 2021, mede door provincie Flevoland gefinancierd

Hoofdstuk 1 - Inleiding

1.1 Motie en beantwoording

Onderwerp Statenvoorstel: Aanbevelingen Evaluatie 1e tranche Structuurvisie Zon

Nummer Statenvoorstel: 2848145

Aan de voorzitter van Provinciale Staten

Provinciale Staten van Flevoland

in vergadering bijeen op: 22 december 2021

Constaterende dat:

- Er in de nabije toekomst in het kader van de energietransitie steeds meer zonnepanelen zullen worden geplaatst op dak en op grond
- Oude afgedankte panelen nu vooral in de shredder terecht komen, terwijl waardevolle onderdelen zoals silicium en zilver kunnen worden hergebruikt
- Recyclen van zonnepanelen tegen een kleine vergoeding heel goed mogelijk is

Overwegende dat:

- De provincie Flevoland in het kader van de circulaire economie recycling en hergebruik van afgedankte panelen zou kunnen stimuleren
- Er initiatieven bestaan die hergebruik van panelen dan wel hoogwaardige recycling mogelijk maken
- Er inmiddels zonnepanelen op de markt zijn gekomen met een lange levensduur, die bovendien gemakkelijk uit elkaar te halen zijn om gerecycled te kunnen worden.

X Verzoeken het college (dictum) / ☐ Dragen het college op (dictum) / ☐ Spreken uit (dictum)

- a) Te onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen om het gebruik van recyclebare zonnepanelen met een lange levensduur te stimuleren en faciliteren.
- b) Te onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen aan de recycling of hergebruik van oude zonnepanelen.
- c) De uitkomsten van deze onderzoeken te delen met de staten vóór de behandeling van de perspectiefnota.

en gaan over tot de orde van de dag.

De motie benoemt 'zonnepanelen', maar totale 'fotovoltaïsche installaties' bestaan uit panelen, bekabeling en omvormers. Aangezien de panelen daarvan verreweg het grootste volume vormen én de grootste uitdaging v.w.b. hergebruik focust de beantwoording, in lijn met de motie, op de panelen.

Samenvatting beantwoording

1. GS gaat op dit moment geen specifiek beleid ontwikkelen voor circulair inkopen van toekomstige zonnepanelen, omdat het nieuwe inkoopbeleid dat nu ontwikkeld wordt, daar al voldoende handvatten voor biedt.
2. Het college is van mening dat provincie Flevoland haar stimulerende rol op dit moment adequaat vervult.

3. Het college zal zoveel mogelijk marktinitiatieven stimuleren en faciliteren.
4. De motie verzoekt "De uitkomsten van deze onderzoeken te delen met de staten vóór de behandeling van de perspectiefnota." Dit bleek niet mogelijk omdat er meer tijd nodig was voor de beantwoording en zo bovendien actuele ontwikkelingen rondom Stichting OPEN konden worden meegenomen.

Opbouw beantwoording

De motie adresseert twee actuele thema's passend binnen de provinciale circulaire ambitie¹:

- stimuleren van gebruik van circulaire panelen (hier benoemt als 'de voorkant'), en
- recycling van ingenomen panelen nadat ze zijn ingezameld ('de achterkant').

De *voorkant* gaat in feite over inkoop – zie **Hoofdstuk 2**.

De *achterkant* ofwel recycling / hergebruik is als volgt op te delen:

Andere partijen stimuleren en faciliteren – zie **Hoofdstuk 3**

Proactieve rol gericht op recyclingfaciliteiten in Flevoland – zie **Hoofdstuk 4**.

1.2 *Beleid*

De motie verzoekt expliciet te onderzoeken op welke wijze 'provinciaal beleid' in beide onderwerpen een rol kan spelen.

De **Omgevingsvisie** en het **Omgevingsprogramma** zijn onder de Omgevingswet de instrumenten om de provinciale ambitie meer handen en voeten te geven. Te denken valt aan kaderstelling en regulering vanuit de fysieke leefomgeving. Met daarin benoemd de juiste rollen en instrumenten zoals subsidie, vergunningverlening en ruimte voor nieuwe circulaire bedrijven.

Provinciale Staten kan circulariteit expliciet meenemen bij het actualiseren van de Omgevingsvisie en het Omgevingsprogramma vanaf de 2^e helft van 2022.

¹ [Omgevingsvisie Flevoland Straks](#): "In 2030 en verder staat Flevoland bekend als de grondstoffenleverancier voor de circulaire economie. (Rest)stromen uit de landbouw, bedrijven en huishoudens maken we geschikt voor duurzaam (her)gebruik. Groene grondstoffen en gebruikte materialen bewerken we zodanig dat ze snel en gemakkelijk hun weg vinden naar bestaande en nieuwe afzetmarkten; in Flevoland, in Nederland en wereldwijd."

Hoofdstuk 2 - Inkoop

“onderzoek op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen om het gebruik van recyclebare zonnepanelen met een lange levensduur te stimuleren en faciliteren.”

Dit deel van de beantwoording van de motie gaat over inkoop van nieuwe panelen. Er wordt nader ingegaan op ambities, het actuele beleid en de huidige herziening, afgesloten met een conclusie.

2.1 Ambitie circulair inkopen

Op 18 oktober 2018 is tijdens de MRA Duurzaamheidstop de ambitie vastgesteld om 10% circulair in te kopen in 2022, 50% in 2025 en 100% in 2030. Zowel provincie Flevoland als alle 6 gemeenten hebben dit mede-ondertekend. Er is een handreiking opgesteld om de ambitie te vertalen naar een aanbestedingstraject.

Ook is een Roadmap Circulair Inkopen & Opdrachtgeverschap opgesteld. Daaruit: *“Deze roadmap biedt de meetmethodiek om te bepalen wanneer een aanbesteding circulair is en wat het niveau van circulair inkopen van de organisatie is.”*

Er loopt momenteel (zomer '22) een traject 'herijking inkoopbeleid' waarbij circulariteit een prominente plaats krijgt en genoemde ambitie wordt daarin meegenomen.

2.2 Inkoopbeleid provincie Flevoland

Het huidige beleid (2017) gaat uit van EMVI – economisch meest voordelige inschrijving. Dit houdt in dat de aanbestedende dienst naast prijs ook kwaliteitscriteria kan uitvragen en waarderen. In paragraaf 3.2 van dat beleid staat het volgende met betrekking tot circulariteit (gele markering aangebracht):

“Maatschappelijk Verantwoord Inkopen

- a. Bij Inkopen neemt de Provincie duurzaamheidsaspecten in acht.
Binnen de financiële mogelijkheden wordt bij de provinciale inkopen en aanbestedingen aandacht besteed aan:
 - Het stimuleren van de biobased- en circulaire economie
 - Het minimaliseren van het materialen- en energieverbruik (energie neutraal)
 - De toename van hernieuwbare energieproductie
- b. Waar mogelijk zet de provincie zelf de stap naar circulair en werkt de provincie toe naar energieneutraal. De Provincie gaat bij haar inkopen en aanbestedingen de vraag naar groene en gebruikte materialen stimuleren en ondernemers stimuleren om circulair te werken.

Circulaire zonnepanelen – bestaan die al?

Om circulaire zonnepanelen te kunnen inkopen moeten ze wel bestaan. Het Nederlandse bedrijf Solarq brengt naar eigen zeggen 100% circulaire panelen op de markt. Ze zijn circulair omdat ze a) geheel losmaakbaar worden gemaakt, en b) uit herbruikbare kunststoffen kunnen worden gemaakt. Verder zijn ze 50% lichter (hetgeen ze op meer plekken toepasbaar maakt zoals lichte-constructie daken) en wordt 25% CO2 bespaard bij de productie.

In maart 2022 is door provincie Flevoland een aanbesteding voor aanschaf van zonnepanelen op de markt gebracht voor in totaal een 'minimum vermogen' van 144.000 kWh. In deze aanbesteding zijn sociale, maar geen circulaire eisen opgenomen aan de installatie. Bij navraag bleek dat was aangenomen dat er nog geen circulaire panelen bestaan. Deze zijn er wel (zie bovenstaand kader, pagina 5), maar omvatten nog slechts een fractie van het totaal. Ze zijn bovendien in aanschaf aanzienlijk duurder en omdat er minder ervaring mee is kunnen er vragen ontstaan over opbrengsten en levensduur. Dat neemt niet weg dat de afweging in ieder geval wel gemaakt zou moeten worden.

2.3 Conclusie Inkoop

Gezien de ruimte die het huidige inkoopbeleid al biedt, de herziening daarvan met ruime aandacht voor circulariteit, ziet GS momenteel geen aanleiding specifiek beleid te gaan ontwikkelen voor circulair inkopen van toekomstige zonnepanelen.

Hoofdstuk 3 - Hergebruik – stimulerende rol

"... onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen aan de recycling of hergebruik van oude zonnepanelen."

Om hergebruik te stimuleren zet provincie Flevoland zich momenteel actief in voor een landelijk goed werkend systeem (zie onder Stichting OPEN), en voor regionale initiatieven naar behoefte van de markt (zie onder het voorbeeld Zonnige Toekomst).

Omvang recyclingmarkt zonnepanelen

"Naar schatting zullen er in 2040 meer dan 500 miljoen(!) zonnepanelen op onze daken liggen. De explosieve groei van de vraag naar zonne-energie is nu al terug te zien in de cijfers. In 2020 zijn er 11,2 miljoen nieuwe panelen geïnstalleerd. Dit brengt het totaal op circa 40 miljoen zonnepanelen, waarvan 80% in China is geproduceerd. Met slechts 7.000 zonnepanelen die in 2019 het 'recycle-circuit' hebben gevonden, zijn er nog grote stappen te maken voor wat betreft circulariteit." [bron: [Fair Solar Netwerk](#)]

3.1 Belang recycling zonnepanelen

Vanuit duurzaamheid is het van belang grondstoffen, waarvoor mijnbouw is gepleegd, land gebruikt en energie verbruikt, zo lang mogelijk in de keten te houden. Ook moet zorgvuldig met afgedankte panelen worden omgegaan omdat er schadelijke stoffen in zitten die niet in het milieu terecht moeten komen.

Vanuit leveringszekerheid moeten grondstoffen die nu in de panelen zitten behouden blijven omdat ze noodzakelijk zijn voor inzet in de toekomstige technieken van de energietransitie. Grondstoffen worden schaarser (en duurder), steeds moeilijker te winnen en leveringszekerheid komt, mede door geopolitieke ontwikkelingen, in het geding. Eind 2020 / begin 2021 heeft provincie Flevoland een onderzoek medegefinancierd met als titel 'metaalvraag van de energietransitie'. In dat rapport (Edocs #2953741) wordt uiteengezet hoe afhankelijk Nederland en Europa al zijn en nog worden van schaarse en/of geopolitiek sensitieve grondstoffen. In de circulaire ambitie van de Rijksoverheid is leveringszekerheid dan ook als strategisch doel benoemd.

Recyclebaarheid

De huidige generatie zonnepanelen is slechts in beperkte mate recyclebaar omdat ze niet circulair zijn ontworpen. Een circulair ontwerp principe gaat ervan uit dat een product 'losmaakbaar' is waarbij componenten en elementen zonder schade uit elkaar gehaald kunnen worden voor reparatie / hergebruik op hetzelfde kwaliteitsniveau zonder verdere bewerkingen.

De huidige recycling is wel hoog in gewichts- en volumepercentages, maar niet in termen van hoogwaardige materialen. Glas en aluminium worden goed gescheiden net als het koper van de bedrading. Maar voor het zilver (ca. 5g/paneel) en hoogwaardig silicium (ca. 600g/paneel) ontbreken nog de technieken. Ook zijn er nu nog speciale methoden en vrij veel energie nodig om bijvoorbeeld glas van de cellen te scheiden, de lijmlaag van het glas, en de cellen van een folie.

Dit is problematisch gezien vanuit circulaire economie omdat de AEEA-regeling (zie onder Roadmap) gewichtspercentages als recycling-eis stelt, en glas + aluminium + junction box voldoen al gauw aan het gewichtspercentage.

De technische levensduur van panelen kan wel tot 40 jaar zijn. Echter, de energie-opbrengst loopt over de jaren terug met ca. 1 a 2% per jaar. Veel producenten garanderen daarom ca. 25 jaar levensduur.

3.2 Stimuleren / faciliteren recycling door provincie Flevoland

Hieronder 5 actuele en recente activiteiten waarbij provincie Flevoland haar stimulerende rol vervult of vervulde.

3.2.1 Roadmap Stichting OPEN

Stichting OPEN is normadressaat voor de wettelijke AEEA-regeling² waaronder ook fotonvoltaïsche panelen vallen. Dit houdt in dat zij (gescheiden) dienen te worden ingezameld en volgens minimumstandaarden te worden verwerkt.

Stichting OPEN ontwikkelde in 2021 een roadmap om te komen tot een 'circulaire fotonvoltaïsche industrie'. Er moet echter nog veel gebeuren om dit tot een succes te maken waaronder hogere afdrachten per paneel, voorkoming van freeriders, inzameling van alle panelen (niet alleen de grootschalige installaties) en verwerkingstechnieken en -faciliteiten.

² AEEA = Regeling afgedankte elektrische en elektronische apparatuur

In maart 2022 namen provincies Flevoland en Noord- en Zuid Holland het initiatief een brief te sturen (namens alle provincies) aan Stichting OPEN met daarin het aanbod mee te denken over hun roadmap. Inmiddels is een bestuurlijk overleg in de maak en wordt gewerkt aan een gezamenlijk statement voor verdere samenwerking. Met deze actie zet provincie Flevoland actief in om de maatschappelijke kant van recycling goed georganiseerd te krijgen.

3.2.2 Marktininitiatief 'Zonnige toekomst'

Van september '20 tot en met januari '21 is provincie Flevoland op verzoek van een adviesbureau betrokken geweest bij een initiatief om te komen tot een faciliteit voor inname, herstel/onderhoud en recycling van zonnepanelen bij Concern voor Werk in Lelystad.

- De derde partij in dat partnerschap was WEEE Nederland voor de inzameling.
- In potentie kon TNO betrokken raken omdat zij een pilotlocatie zochten voor onderzoek en dat graag in Flevoland wilden.
- Provincie Flevoland heeft meegedacht met financieringsmogelijkheden en een aanbevelingsbrief opgesteld t.b.v. hun inzending voor een prijsvraag (Werkinnovatieprijs van de Startfoundation).
- Het businessplan hield rekening met de hoofdprijs van EUR 1mln, maar won die niet en kreeg de businesscase uiteindelijk niet rond.
- Een poging tot een Kansen-voor-West subsidietraject leidde niet tot resultaat.

Naar aanleiding van dit initiatief is intern een document 'Dossier PV-recycling' opgesteld (aantekeningen, citaten uit gesprekken e.d.) zodat een eventueel vervolg of nieuw initiatief snel ondersteund kan worden vanuit de provincie.

3.2.3 Horizon Flevoland

Begin 2022 is aan Horizon Flevoland gevraagd hun netwerken en partners na te lopen of er partijen tussen zitten die mogelijk een vergelijkbaar marktininitiatief zouden kunnen / willen starten. Dat antwoord is vooralsnog 'nee'. In de regelmatige contacten tussen Team CE en de business developers circulaire economie bij Horizon Flevoland komt dit onderwerp geregeld naar voren en worden ontwikkelingen in deze richting gevolgd.

3.2.4 Lobby

In IPO- en MRA-verband lobbyt provincie Flevoland voor nationaal en Europees circulair beleid. Niet specifiek -tot op heden- voor PV-installaties, maar voor meer financiële middelen en meer wet- en regelgeving. Zie oa de [IPO Krachtenkaart Circulaire Economie](#) met als één van de speerpunten 'circulair inkopen en aanbesteden'.

3.2.5 Voucher- en subsidieregeling CE 2022/23

Team circulaire economie is bezig twee regelingen op te stellen gericht op het versnellen van de circulaire economie in Flevoland. De ene is een voucherregeling met bedragen tot EUR 2.000 en de andere een subsidieregeling tot EUR 20.000 beiden met maximaal 50% co-financiering. De voucher is gericht op quick-scans om circulaire kansen in het MKB te verkennen, en de subsidie op circulaire projecten. Met deze regelingen zal kennis vergaard worden over het type circulaire vraagstukken in Flevoland; bij de uitvoering van de regelingen (beoogde openstelling eind '22) zal, indachtig deze motie, extra gelet worden op initiatieven en projecten gericht op zowel ontwerp van circulaire panelen als op hergebruik / recycling van afgedankte panelen.

3.3 Conclusie Stimulerende rol hergebruik

Het college is van mening dat provincie Flevoland haar stimulerende rol adequaat vervult en dat er momenteel geen aanvullende acties hoeven te worden genomen.

Hoofdstuk 4 - Hergebruik – initiërende rol

Zoals vermeld wordt recycling van zonnepanelen wordt een -heel- grote industrie. Regio's die (delen van) deze industrie naar zich toetrekken creëren werkgelegenheid én winnen waardevolle grondstoffen, onder andere nodig voor de energietransitie. Het is daarmee een potentieel aantrekkelijke industrie om te huisvesten. Er worden momenteel echter voor zover bekend in Flevoland geen marktinitiatieven ontplooid in deze richting. Provincie Flevoland houdt ontwikkelingen wel in de gaten vanuit teams Economie en Circulaire economie, en vanuit Horizon Flevoland. Er wordt momenteel geen pro-actief beleid gevoerd, maar zodra een dergelijk initiatief ontstaat zal worden onderzocht of en zo ja hoe provincie Flevoland daarin kan stimuleren en faciliteren.

Begin 2020 is ambtelijk en bestuurlijk gesproken over het laten uitvoeren van een marktverkenning gericht op het beter in beeld brengen van volumes en huidige recyclingpraktijken, en of er potentieel circulaire en economische winst voor provincie Flevoland kon worden onderkend. Er is toen een aanpak voor een marktverkenning opgesteld maar die is uiteindelijk niet uitgevoerd wegens -destijds- onvoldoende urgentie. Zodra zich marktinitiatieven aandienen zou de verkenning geactualiseerd worden.

Nu dragen deze motie, de ontwikkelingen bij Stichting OPEN en de voortschrijdende tijd (de stapel te recyclen zonnepanelen neemt elk jaar toe) bij aan de urgentie, maar is inmiddels ook duidelijk geworden dat inventarisatie op provincie-niveau te beperkt is. Op nationaal niveau zijn de volumes en bestaande verwerkingstechnieken goed in kaart gebracht; TNO komt na de zomer van '22 met een rapport hierover, opgesteld in opdracht van Stichting OPEN. GS zal dit TNO-rapport bestuderen en op basis daarvan Provinciale Staten informeren over eventuele vervolgstappen indien economische of andere kansen onderkend worden. Naast de stimulerende rol zou de provincie dan mogelijk een initiërende rol kunnen innemen.

Ter vergelijking wordt hier nog benoemd dat provincie Zuid Holland in november 2021 een onderzoek heeft laten uitvoeren naar circulariteit van windturbines: Rapport "*Circulariteit van windenergie in Zuid-Holland - Wat is de rol van provincie Zuid-Holland bij circulariteit van windenergie?*" (Edocs #2922103)

Provincie Zuid Holland concludeerde dat zij door het stimuleren van hogere circulariteitsstrategieën kunnen bijdragen aan een circulaire toekomst van Zuid-Holland.

Rollen die zij voor zichzelf zien: 1) beleid maken rond circulaire eisen en criteria voor vergunningen en aanbestedingen en deze kennis delen met andere overheden, 2) lobbyen voor nationaal en Europees circulair beleid, 3) duur van grondcontracten aanpassen en 4) bijdragen aan Zuid-Hollandse circulaire innovaties voor energieopwekking.

4.1 Conclusie Initiërende rol hergebruik panelen

Vooralsnog is de inschatting van het college dat het nog te vroeg is, en de marktomstandigheden te onzeker voor een initiërende rol. Mocht het genoemde TNO-rapport aanknopingspunten bieden voor werkgelegenheidskansen gekoppeld aan recycling-activiteiten dan zal Provinciale Staten hierover worden geïnformeerd.



MOTIE

Artikel 25 van Reglement van Orde Provinciale Staten van Flevoland

Motie nr.: 7

(In te vullen door de griffier)

Onderwerp: Stimuleer gebruik van recyclebare zonnepanelen en recycling van afgedankte panelen

Agendapunt: 11a

Onderwerp Statenvoorstel: Aanbevelingen Evaluatie 1e tranche Structuurvisie Zon

Nummer Statenvoorstel: 2848145

Aan de voorzitter van Provinciale Staten

Provinciale Staten van Flevoland

in vergadering bijeen op: 22 december 2021

Constaterende dat:

- Er in de nabije toekomst in het kader van de energietransitie steeds meer zonnepanelen zullen worden geplaatst op dak en op grond
- Oude afgedankte panelen nu vooral in de shredder terecht komen, terwijl waardevolle onderdelen zoals silicium en zilver kunnen worden hergebruikt
- Recyclen van zonnepanelen tegen een kleine vergoeding heel goed mogelijk is

Overwegende dat:

- De provincie Flevoland in het kader van de circulaire economie recycling en hergebruik van afgedankte panelen zou kunnen stimuleren
- Er initiatieven bestaan die hergebruik van panelen dan wel hoogwaardige recycling mogelijk maken
- Er inmiddels zonnepanelen op de markt zijn gekomen met een lange levensduur, die bovendien gemakkelijk uit elkaar te halen zijn om gerecycled te kunnen worden.

X Verzoeken het college (dictum) / ☐ Dragen het college op (dictum) / ☐ Spreken uit (dictum)

- a) Te onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen om het gebruik van recyclebare zonnepanelen met een lange levensduur te stimuleren en faciliteren.
- b) Te onderzoeken op welke wijze Provinciaal beleid kan bijdragen aan de recycling of hergebruik van oude zonnepanelen.
- c) De uitkomsten van deze onderzoeken te delen met de staten vóór de behandeling van de perspectiefnota.

en gaan over tot de orde van de dag.

Naam initiatiefnemer: S.V. Vrouwenvelder (GroenLinks), L. Schenk (ChristenUnie)

Handtekening initiatiefnemer:

De motie wordt ondersteund door:

PARTIJ	NAAM ONDERTEKENAAR	HANDTEKENING
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
Fractie Van der Starre		
		
		
		
		

Stemverhouding	Voor	Tegen
Totaal		
JA21	5	5
VVD	6	1
PVV	4	4
GroenLinks	4	1
CDA	4	1
PvdA	3	1
ChristenUnie	3	1
SP	2	1
D66	2	1
PvdD	2	1
SGP	1	1
Fractie Van der Starre	1	1
DENK	1	1
Forum voor Democratie	1	1
GO	1	1
50PLUS	1	1
	38	10
De motie is:	Aangenomen	Verworpen

Aldus besloten in de openbare vergadering van Provinciale Staten van 22 december 2021.

Statengriffier,
mr. A. Kost

Voorzitter,
L. Verbeek

Inkoop- en aanbestedingsbeleid Provincie Flevoland 2017

Inhoudsopgave

Inleiding.....	2
1. Provinciale doelstellingen	3
2. Juridische uitgangspunten.....	4
2.1 Algemeen juridisch kader	4
2.2 Uniforme documenten	4
2.3 Algemene beginselen.....	4
2.4 Mandaat en volmacht.....	4
2.5 Afwijking van het beleid.....	4
3. Ethische en ideële uitgangspunten	5
3.1 Integriteit	5
3.2 Maatschappelijk Verantwoord Inkopen.....	5
3.3 Innovatie	5
4. Economische uitgangspunten	6
4.1 Product- en marktanalyse	6
4.2 Onafhankelijkheid en keuze voor de ondernemersrelatie.....	6
4.3 Lokale economie en MKB	6
4.4 Samenwerkingsverbanden	6
4.5 Bepalen van de inkoopprocedure.....	6
4.6 Raming en financiële budget	7
4.7 Eerlijke mededinging en commerciële belangen.....	8
5. Organisatorische uitgangspunten	9
5.1 Inkoopproces	9
5.2 Inkoop in de organisatie.....	9

Inleiding

De provincie Flevoland (hierna: de Provincie) spant zich continu in voor een (verdere) professionalisering van de Inkoop- en aanbestedingspraktijk.

Daarnaast wordt rekening gehouden met maatschappelijke ontwikkelingen, met name die welke in het College Uitvoeringsprogramma 2015-2019 van het College van Gedeputeerde Staten als speerpunt worden aangegeven.

In dit Inkoop- en aanbestedingsbeleid wordt het inkoopproces inzichtelijk en transparant gemaakt door de doelstellingen, uitgangspunten en kaders te schetsen waarbinnen Inkoop in de Provincie plaatsvindt.

De Provincie leeft daarbij een aantal centrale doelstellingen na (zie verder hoofdstuk 1). Aangezien Inkoop plaatsvindt in een dynamische omgeving, dient de Provincie continu bezig te zijn met het doorvoeren van verbeteringen in de inkoopprocessen. De Provinciale doelstellingen zijn hierbij leidend. Dit beleid sluit zoveel mogelijk aan op het algemene beleid van de Provincie.

Daarnaast gaat de Provincie bij het inkopen van werken, leveringen of diensten uit van:

1. Juridische uitgangspunten: hoe gaat de Provincie om met de relevante regelgeving?
(zie verder hoofdstuk 2)
2. Ethische en ideële uitgangspunten: hoe gaat de Provincie om met de maatschappij en het milieu in haar inkoopproces? (zie verder hoofdstuk 3)
3. Economische uitgangspunten: hoe gaat de Provincie om met de markt en ondernemers?
(zie verder hoofdstuk 4)
4. Organisatorische uitgangspunten: hoe koopt de Provincie in?
(zie verder hoofdstuk 5)

1. Provinciale doelstellingen

De Provincie wil met dit Inkoop- en aanbestedingsbeleid de volgende doelstellingen realiseren:

a. Rechtmatig en doelmatig Inkopen zodat gemeenschapsgelden op controleerbare en verantwoorde wijze worden aangewend en besteed.

De Provincie leeft daartoe bestaande wet- en regelgeving en de bepalingen van het Inkoop- en aanbestedingsbeleid na. Daarnaast koopt de Provincie efficiënt en effectief in. De inspanningen en uitgaven moeten daadwerkelijk bijdragen aan de realisatie van het beoogde doel. De kosten staan in redelijke verhouding tot de opbrengsten en het beheersen en verlagen van de provinciale middelen staan centraal. De Provincie houdt daarbij in het oog dat er voldoende toegang is voor ondernemers tot provinciale opdrachten.

b. Een integere, betrouwbare en professionele inkoper en opdrachtgever zijn.

Professionaliteit houdt in dat op bewuste en zakelijke wijze wordt omgegaan met inkoop. Continu wordt geïnvesteerd in inhoudelijke kennis over de in te kopen werken, leveringen en diensten, de marktomstandigheden en de relevante wet- en regelgeving. Het streven naar professioneel opdrachtgeverschap komt tot uitdrukking in een betrokkenheid bij de inkoopambitie, slagvaardige besluit- vorming, adequaat risicomanagement, vertrouwen in de contractant en in wederzijds respect tussen de Provincie en de contractant. De Provincie spant zich in om alle inlichtingen en gegevens te verstrekken aan de ondernemer voor zover die nodig zijn in het kader van het inkoopproces.

c. Inkopen tegen de meest optimale (integrale) prijskwaliteit verhouding.

Bij het Inkopen van werken, leveringen en diensten kan de Provincie ook interne en andere (externe) kosten betrekken in de afweging. Ook de kwaliteit van de in te kopen werken, leveringen en diensten speelt een belangrijke rol.

d. Een continue positieve bijdrage leveren aan het gehele prestatie- niveau van de Provincie

Inkoop moet tenslotte ondersteunend zijn aan het gehele prestatieniveau van de Provincie en daar direct en voortdurend aan bijdragen. De concrete doelstellingen van inkoop zijn daarbij steeds rechtstreeks afgeleid van de provinciale doelstellingen.

e. Een administratieve lastenverlichting voor zowel zichzelf als voor ondernemers voorop.

Zowel de Provincie als ondernemers verrichten vele administratieve handelingen tijdens het inkoopproces. De Provincie verlicht deze lasten door bijvoorbeeld proportionele eisen en criteria te stellen en door een efficiënt inkoopproces uit te voeren. Concreet kan de Provincie hiertoe digitaal Inkopen (en aanbesteden). De Provincie maakt, waar mogelijk of noodzakelijk, gebruik van het Uniform Europees Aanbestedingsdocument (UEA).

f. Inkoop- en aanbestedingsbeleid sluit zoveel mogelijk aan op het algemene beleid van de Provincie.

In het bijzonder sluit het beleid aan op het volgende Provinciale beleid:

1. *de Gedragscode bestuurders provincie Flevoland 2006,*
2. *de Gedragscode ambtelijke integriteit ambtenaren provincie Flevoland,*
3. *het College Uitvoeringsprogramma Flevoland 2015-2019.*

Om deze doelstellingen te realiseren zijn juridische, ethische en ideële, economische en organisatorische uitgangspunten vastgelegd in dit Inkoop- en aanbestedingsbeleid. Deze uitgangspunten zijn in de volgende hoofdstukken uitgewerkt.

2. Juridische uitgangspunten

2.1 Algemeen juridisch kader

a. De Provincie leeft de relevante wet- en regelgeving na.

Uitzonderingen op (Europese) wet- en regelgeving zullen door de Provincie restrictief worden uitgelegd en toegepast om te voorkomen dat het toepassingsbereik van deze wet- en regelgeving wordt uitgehold. De voor het Inkoop- en aanbestedingsbeleid meest relevante wet- en regelgeving volgen uit:

- o **Europese wet- en regelgeving:** wet- en regelgeving op het gebied van aanbesteden is afkomstig van de Europese Unie. De 'Aanbestedingsrichtlijnen' vormen momenteel de belangrijkste basis. De interpretatie van deze Aanbestedingsrichtlijnen kan volgen uit Groenboeken, interpretatieve mededelingen etc. van de Europese Commissie.
- o **Aanbestedingswet:** dit nieuwe wettelijke kader implementeert de Europese Aanbestedingsrichtlijnen 2014/23/EU, 2014/24/EU en 2014/25/EU. Deze wet biedt één kader voor overheidsopdrachten en speciale-sectoropdrachten boven en – beperkt – onder de (Europese) drempelwaarden en de rechtsbescherming bij (Europese) aanbestedingen.
- o **Burgerlijk Wetboek:** het wettelijke kader voor overeenkomsten.
- o **Provinciewet:** het wettelijke kader voor provinciale overheden.
- o **Privacywetgeving:** de vigerende wetgeving op het gebied van privacy.

2.2 Uniforme documenten

De Provincie streeft er naar om uniforme documenten te hanteren, tenzij een concreet geval dit niet toelaat. Uniformiteit in de uitvoering draagt eraan bij dat ondernemers weten waar ze aan toe zijn en landelijk gezien niet steeds met verschillende procedureregelingen worden geconfronteerd. De Provincie past bij de betreffende inkoop in ieder geval toe:

- De Gids Proportionaliteit;
- Het Aanbestedingsreglement werken 2016 ('ARW 2016');
- Vigerend reglement voor intern klachtenmeldpunt aanbestedingen provincie Flevoland;
- Vigerende Algemene Inkoopvoorwaarden provincie Flevoland;
- Vigerende Algemene Rijksvoorwaarden bij IT-overeenkomsten (ARBIT).

2.3 Algemene beginselen

a. Algemene beginselen van het aanbestedingsrecht

De Provincie neemt bij inkoop en aanbesteding de volgende algemene beginselen van het aanbestedingsrecht in acht:

- **Gelijke behandeling van inschrijvers:** alle deelnemers aan een aanbestedingsprocedure worden op gelijke wijze behandeld.
- **Non-discriminatie:** er wordt geen onderscheid naar nationaliteit gemaakt.
- **Transparantie:** er wordt helder en begrijpelijk over aanbestedingen gecommuniceerd.
- **Proportionaliteit:** technische specificaties, uitsluitingsgronden, geschiktheidseisen, selectie- en gunningscriteria zijn relevant en staan in verhouding tot aard en omvang van de opdracht.

b. Algemene beginselen van behoorlijk bestuur

De Provincie neemt bij inkoop en aanbesteding eveneens de algemene beginselen van behoorlijk bestuur, zoals het gelijkheidsbeginsel, motiveringsbeginsel en vertrouwensbeginsel, in acht.

2.4 Mandaat en volmacht

Inkoop vindt plaats met inachtneming van de vigerende mandaatregeling van de Provincie.

2.5 Afwijking van het beleid

Afwijking van het Inkoop- en aanbestedingsbeleid vindt uitsluitend plaats op basis van een deugdelijk gemotiveerd besluit van de secretaris van de Provincie.

3. Ethische en ideële uitgangspunten

3.1 Integriteit

a. De Provincie stelt bestuurlijke en ambtelijke integriteit voorop.

De Provincie heeft integer handelen hoog in het vaandel staan. Bestuurders en ambtenaren houden zich aan de vastgestelde "Gedragscode Integriteit commissaris van de Koning en gedeputeerden provincie Flevoland 2016" respectievelijk de "Gedragscode ambtelijke integriteit provincie Flevoland".

b. De Provincie contracteert enkel met integere Ondernemers.

De Provincie doet uitsluitend zaken met integere ondernemers. Gegadigden respectievelijk inschrijvers dienen daartoe bij indiening van de aanmelding respectievelijk inschrijving op een (niet-) openbare aanbesteding een Uniform Europees Aanbestedingsdocument in te vullen. Ook kan in het kader van de Wet bevordering integriteitsbeoordelingen door het openbaar bestuur, een Bibob-toets plaatsvinden.

3.2 Maatschappelijk Verantwoord Inkopen

a. Bij Inkopen neemt de Provincie duurzaamheidsaspecten in acht.

Binnen de financiële mogelijkheden wordt bij de provinciale inkopen en aanbestedingen aandacht besteed aan:

- Het stimuleren van de biobased- en circulaire economie
- Het minimaliseren van het materialen- en energieverbruik (energieneutraal)
- De toename van hernieuwbare energieproductie

b. Waar mogelijk zet de provincie zelf de stap naar circulair en werkt de provincie toe naar energieneutraal. De Provincie gaat bij haar inkopen en aanbestedingen de vraag naar groene en gebruikte materialen stimuleren en ondernemers stimuleren om circulair te werken.

c. De Provincie wil het verder verduurzamen van inkoop stimuleren, waarbij de CO₂-voetafdruk van de te leveren diensten, werken en producten één van de afwegingscriteria is. Het verminderen van de CO₂ uitstoot is voor de Provincie het vertrekpunt bij het ontwerpen, aanleggen, beheren en onderhouden van onze (vaar)wegen. Het gedachtegoed achter de aanpak Duurzaam GWW (Grond-, Weg- en Waterbouw) is hiervoor een geschikte methodiek. Hierbij wordt vanaf de ideefase van een project integraal (zowel intern als met de markt) gekeken naar kansen en mogelijkheden om de doorontwikkeling naar duurzaamheid en innovatie te stimuleren.

Daarnaast wordt met de Rijksoverheid bekeken of er nieuwe duurzame inkoopdoelstellingen voor 2020 kunnen worden afgesproken. Hierbij zal worden aangehaakt bij de Green Deal Circulair Inkopen en de Green Deal Duurzaam GWW 2.0 die de Provincie heeft ondertekend.

d. De Provincie betreft de uitvoering van de Participatiewet bij haar inkopen en aanbestedingen.

3.3 Innovatie

De Provincie moedigt innovatiegericht inkopen en aanbesteden aan. Bij innovatiegericht inkopen wordt gezocht naar een innovatieve oplossing en biedt de provincie ruimte voor vernieuwing aan de ondernemers om een innovatieve oplossing aan te bieden.

4. Economische uitgangspunten

4.1 Product- en marktanalyse

Inkoop vindt plaats op basis van een voorafgaande product- en marktanalyse, tenzij dit gelet op de waarde of de aard van de opdracht niet wordt gerechtvaardigd.

De Provincie acht het van belang om de markt te kennen door – indien mogelijk en wenselijk – een product en/of marktanalyse uit te voeren. Een productanalyse leidt tot inzicht in de aard van het ‘product’ en de relevante markt(vorm). Een marktanalyse leidt tot het inzicht in de relevante markt(vorm), de ondernemers die daarop opereren en hoe de markt- en mogelijke machtsverhoudingen zijn (bijvoorbeeld: kopers- of verkopersmarkt). Een marktconsultatie met ondernemers kan onderdeel uitmaken van de marktanalyse.

4.2 Onafhankelijkheid en keuze voor de ondernemersrelatie

a De Provincie acht een te grote afhankelijkheid van Ondernemers niet wenselijk.

De Provincie streeft naar onafhankelijkheid ten opzichte van ondernemers (contractanten) zowel tijdens als na de contractperiode. De Provincie moet in beginsel vrij zijn in het maken van keuzes bij haar inkoop (waaronder de keuze van ondernemer(s) en contractant(en), maar ook vanwege de naleving van de (Europese) wet- en regelgeving.

b De Provincie kiest voor de meest aangewezen ondernemersrelatie.

Gedurende de contractperiode kan bij de contractant afhankelijkheid ontstaan van de Provincie door bijvoorbeeld de te behalen doelstellingen, resultaten, productontwikkelingen (innovatie) of het creëren van prikkels. De Provincie kiest in dat geval voor de meest aangewezen ondernemersrelatie. De mate van (on)afhankelijkheid in een ondernemersrelatie wordt onder andere bepaald door de financiële waarde van de opdracht, switchkosten, mate van concurrentie in de sector (concentratiegraad) en beschikbaarheid van alternatieve ondernemers.

4.3 Lokale economie en MKB

a De Provincie heeft oog voor de lokale economie, zonder dat dit tot enigerlei vorm van discriminatie van ondernemers leidt.

In gevallen waar een enkelvoudig onderhandse offerteaanvraag en/of een meervoudig onderhandse offerteaanvraag volgens de geldende wet- en regelgeving is toegestaan, kan rekening worden gehouden met de lokale economie en lokale ondernemers. Discriminatie moet daarbij worden voorkomen en de Provincie moet niet onnodig regionale, nationale, Europese of mondiale kansen laten liggen.¹

b De Provincie heeft oog voor het midden- en kleinbedrijf (MKB).

Uitgangspunt is dat alle ondernemers gelijke kansen moeten krijgen. De Provincie houdt echter bij haar Inkoop de mogelijkheden voor het midden- en kleinbedrijf in het oog. Dit kan de Provincie doen door gebruik te maken van percelen in aanbestedingen, het toestaan van het aangaan van combinaties en onderaanneming, het verminderen van de lasten en het voorkomen van het hanteren van onnodig zware selectie- en gunningscriteria.

4.4 Samenwerkingsverbanden

De Provincie hanteert als uitgangspunt dat zij oog heeft voor samenwerking bij inkoop. Dit geldt zowel voor samenwerkingen binnen de eigen organisatie als voor samenwerkingen met andere overheden of aanbestedende diensten.

Op het gebied van inkoop biedt samenwerking met andere (overheids-)organisaties vele mogelijkheden. Het primaire doel van samenwerking op het gebied van inkoop is het delen van kennis en expertise. Secundaire doelen zijn het versterken van onze positie in de markt, het verlagen van kosten, het behalen van efficiencyvoordelen en het bundelen van inkoopvolume, waarbij het niet onnodig samenvoegen van opdrachten uitgangspunt is.

De Provincie neemt deel in enkele inkoop Samenwerkingsverbanden van de gezamenlijke provincies, de gemeenten en waterschap (binnen de provincie), het Rijk en diverse aan inkoop gerelateerde green deals. In de diverse overleggen wordt kennis, ervaring en informatie gedeeld.

4.5 Bepalen van de inkoopprocedure

Bij het bepalen van de inkoopprocedure hanteert de Provincie de volgende methode:

¹ ‘Local sourcing’ kan bijdragen aan de doelmatigheid van de Inkoop.

De Provincie zal - met inachtneming van de Gids Proportionaliteit - bij de onderstaande bedragen de volgende procedures hanteren, tenzij blijkt dat dit niet aansluit bij het type inkoop en het karakter van de markt waarin de ondernemers opereren. In dat laatste geval kan de Provincie ook kiezen voor een andere procedure.

(Bedragen zijn exclusief BTW)

Inkoopprocedure	Werken	Leveringen	Diensten	Uitvoering
Enkelvoudig onderhands	Tot € 50.000,-	Tot € 50.000,-	Tot € 50.000,-	1 offerte
Meervoudig onderhands	Van € 50.000,- tot € 1.500.000,-	Van € 50.000,- tot Europees drempelbedrag	Van € 50.000,- tot Europees drempelbedrag	Minimaal 3 en maximaal 5 offertes
	Van € 1.500.000,- tot € 3.000.000,-	n.v.t.	n.v.t.	Na motivering en accordering. Minimaal 3 en maximaal 5 offertes
Nationaal	Van € 1.500.000,- respectievelijk € 3.000.000,- tot Europees drempelbedrag	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Europees	Vanaf Europees drempelbedrag	Vanaf Europees drempelbedrag	Vanaf Europees drempelbedrag	n.v.t.

Enkelvoudig onderhandse Offerteaanvraag

De Provincie vraagt minimaal aan één ondernemer een offerte.

Meervoudig onderhandse Offerteaanvraag

De Provincie vraagt ten minste aan drie ondernemers en ten hoogste aan vijf ondernemers een offerte.

Nationaal aanbesteden

Onder de (Europese) drempelbedragen zal de Provincie nationaal aanbesteden. De Provincie zal voorafgaand aan de opdrachtverlening een aankondiging plaatsen.

Europees aanbesteden

Boven de (Europese) drempelbedragen zal de Provincie in beginsel Europees aanbesteden, tenzij dit in een bepaald geval niet nodig is op grond van de geldende wet- en regelgeving.

De Provincie zal per inkoop bepalen welke strategie zij hanteert. De verkorte en uitgebreide strategie worden door de Provincie schriftelijk goedgekeurd.

4.6 Raming en financiële budget

Inkoop vindt plaats op basis van een deugdelijke en objectieve vooraf- gaande schriftelijke raming van de opdracht. De raming is ook van belang om de financiële haalbaarheid van de opdracht te bepalen. De Provincie wil immers niet het risico lopen dat zij verplichtingen aangaat die zij niet kan nakomen.

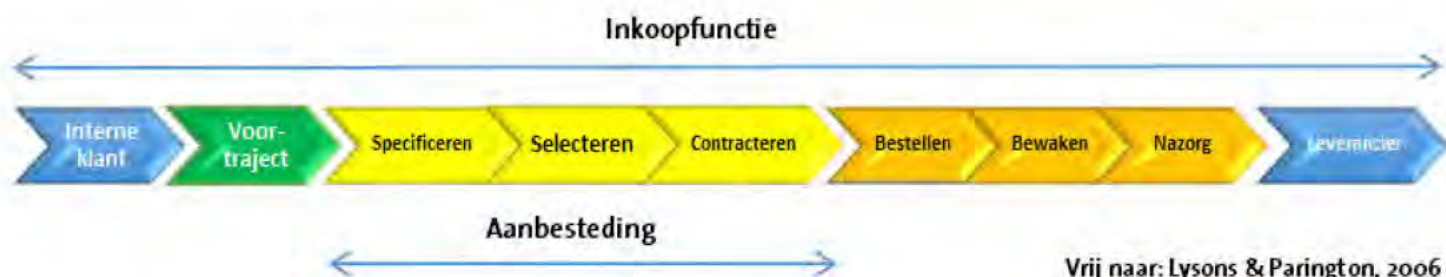
4.7 Eerlijke mededinging en commerciële belangen

De Provincie bevordert eerlijke mededinging. De betrokken ondernemers moeten een eerlijke kans krijgen om de opdracht gegund te krijgen. Door objectief, transparant en non-discriminerend te handelen, bevordert de Provincie een eerlijke mededinging. Dit zal bijdragen aan het in stand houden van een gezonde marktwerking (ook op de lange termijn). De Provincie wenst geen ondernemers te betrekken in haar inkoopproces die de mededinging vervalsen.

5. Organisatorische uitgangspunten

5.1 Inkoopproces

Het inkoopproces bestaat uit verschillende fasen, startend vanaf het voortraject.



Vrij naar: Lysons & Parington, 2006

stap	fase inkoopproces	toelichting
1	Voortraject	- Bepalen van inkoopbehoefte - Bepalen van het aanbod (bijv. product- en marktanalyse) - Raming en bepalen van het financiële budget - Keuze offerteaanvraag
2	Specificeren	- Opstellen van eisen en wensen - Omschrijven van de opdracht - Opstellen offerteaanvraag
3	Selecteren	- Eventuele voorselectie geïnteresseerde ondernemers - Bekendmaking opdracht via verzenden van de offerteaanvraag, de website of Tendered - Offertes evalueren - Nader onderhandelen (indien mogelijk op grond van de geldende wet- en regelgeving) - Gunning aan winnende ondernemer
4	Contracteren	- Tekenen (raam) overeenkomst met (winnende) contractant - Registreren getekende overeenkomst - Informerende afgewezen ondernemers
5	Bestellen	- Uitvoeren van de opdracht - Eventueel met het doen van bestellingen
6	Bewaken	- Bewaken termijnen - Bewaken nakoming afgesproken prestaties - Bewaken tijdige betaling facturen
7	Nazorg	- Beheren van de overeenkomst, bijvoorbeeld prijsindexeringen of looptijd - Evalueren overeenkomst met contractant

5.2 Inkoop in de organisatie

Inkoop en aanbesteding wordt binnen de Provincie centraal gecoördineerd, maar decentraal uitgevoerd. Concreet betekent dit dat iedere afdeling of programma zelfstandig eindverantwoordelijk is voor hun eigen inkoop.

De afdelingen bepalen op basis van hun materiedeskundigheid zelf het programma van eisen.

Bij opdrachten met een geraamde waarde van € 50.000,- of meer wordt vervolgens, daar waar het gaat om leveringen en diensten, inkooptechnisch en juridisch advies ingewonnen bij het cluster inkoop van de afdeling Service en Middelen. Waar het de aanbesteding van werken en aan werken gerelateerde diensten betreft, wordt de afdeling Infrastructuur voor inkooptechnisch en juridisch advies ingeschakeld, vanwege de daar aanwezige specifieke expertise.

Circulariteit van windenergie in Zuid-Holland

Wat is de rol van provincie Zuid-Holland bij circulariteit van
windenergie?



Inhoud

Samenvatting	3
1. Aanleiding, doel en onderzoeksopzet	5
2. Stakeholders windenergie en circulariteit	6
3. Vooruitzicht windindustrie en materiaalstromen	8
4. Circulariteitsstrategieën voor windenergie	10
5. Rollen van de provincie	14
6. Conclusies en aanbevelingen	17
Bijlage 1 – gesprekken externen	18

COLOFON

Dit onderzoek dient ter inspiratie en is geen vastgesteld beleid.

Dit is een uitgave van de provincie
Zuid-Holland
November 2021

Provincie Zuid-Holland

Postbus 90602, 2509 LP Den Haag
Email: windenergie@pzh.nl
Website: www.zuid-holland.nl

Auteurs

██████████, in samenwerking met
████████████████████ en
██████████

Samenvatting

De komende decennia is de verwachting dat het opgestelde vermogen van windturbines gaat toenemen, waarbij nieuwe windparken worden gebouwd en bestaande parken worden gerepowered. Het resultaat hiervan is dat veel windturbines zullen worden ontmanteld, wat zorgt voor grote materiaalstromen. Er zijn verschillende circulaire strategieën om met deze materiaalstromen om te gaan.

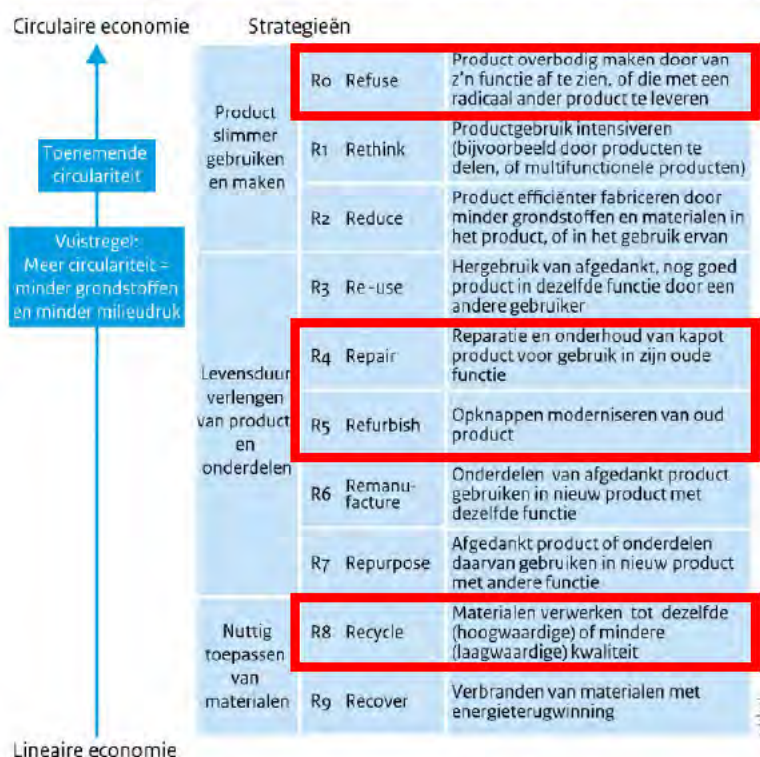
Circulariteitsstrategieën

Voor windenergie wordt een aantal circulariteitsstrategieën al veel gebruikt, zoals R₃ - Re-use, waarbij turbines worden verkocht en hergebruikt in het buitenland, R₄ - Repair bij regulier onderhoud en R₈ - Recycle bij de

ontmanteling van het grootste deel van windturbines.

De rode circulariteitsstrategieën in Figuur 1 kunnen echter nog meer worden gebruikt voor een grotere circulariteit van windenergie. R₀ - Refuse kan worden toegepast door in de toekomst een meer circulaire manier van (wind)energieopwekking te gebruiken, R₄ - Repair en R₅ - Refurbish door de technische levensduur te verlengen met groot onderhoud en refurbishen met nieuwe onderdelen en R₈ - Recycle door ook de turbinebladen hoogwaardig te recyclen. Door deze strategieën te stimuleren, kan de provincie bijdragen aan een circulaire toekomst van Zuid-Holland.

Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën en rol van innovatie in productketen



Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën (PBL, 2016).

Figuur 1: Circulariteitsstrategieën met te stimuleren strategieën door provincie Zuid-Holland (rood).

Rollen van de provincie

Uit gesprekken met collega's binnen provincie Zuid-Holland en externe partijen 4 rollen voor de provincie naar voren (zie Figuur 2), die de circulariteitsstrategieën stimuleren: beleid maken rond circulaire eisen en criteria voor vergunningen en aanbestedingen en deze kennis delen met andere overheden, lobbyen voor nationaal en Europees circulair beleid, duur van grondcontracten aanpassen en bijdragen aan Zuid-Hollandse circulaire innovaties voor energieopwekking.

Circulaire criteria en eisen voor aanbestedingen en vergunningen kunnen worden gebruikt om de markt stimuleren om de levensduur van turbines te verlengen en materialen nuttig toe te passen. Hiervoor moet eerst kennis worden opgedaan, deze worden toegepast in een pilot en vervolgens in het beleid van de provincie en gemeenten worden opgenomen. Om gemeenten hierin te ondersteunen, speelt de provincie een ondersteunende rol. Met de opgedane kennis en ervaring uit de pilot kunnen ook andere provincies hierbij aansluiten.

Ook een **langere duur voor grondcontracten** helpt om het aantrekkelijk te maken voor energieproducenten om de technische levensduur van windturbines te verlengen door groot onderhoud en refurbishen.

Naast de rollen van de provincie binnen Zuid-Holland zelf, kan de provincie ook **lobbyen voor nationaal en Europees beleid** voor een grotere impact. Op deze grotere schaal kan onderzoek naar circulaire innovaties worden gefinancierd, kunnen circulaire eisen op nationale of Europese schaal worden toegepast voor zowel wind op land als wind op zee, kan worden gewerkt aan producentenverantwoordelijkheid en kunnen subsidies partijen extra stimuleren om voorloper te zijn in circulariteit van windenergie.

Ten slotte zou de provincie door moeten gaan met **investeren in Zuid-Hollandse bedrijven met innovaties** in circulaire turbinebladen en circulaire alternatieven van (wind)-energieopwekking.

Uitdagingen zijn andere benodigdheden en oplossingen in de ruimte en een mogelijke spanning tussen realisatie en circulariteit, maar dit kan worden opgelost door vanuit bovengenoemde rollen samen te werken met andere partijen. Zo kan de provincie bijdragen aan een circulaire toekomst van Zuid-Holland.

Rollen van de provincie

Vergunningseisen en criteria voor aanbestedingen

- Kennis opdoen
- Pilot
- Toepassen in beleid
- Gemeenten ondersteunen

➤ Team Windenergie

Lobbyen bij Rijk en EU

- Financieren onderzoek recycling turbinebladen
- Beleid over vergunningseisen
- Producentenverantwoordelijkheid
- Circulaire component in subsidie (SDE)

➤ Team Windenergie en Circulair

Grondcontracten verlengen

- Verlengen naar 25-35 jaar

➤ Team Windenergie en Ontwikkeling en grondzaken

Investeren in innovatieve Zuid-Hollandse bedrijven

- In recycling turbinebladen
- In circulaire alternatieve manieren van (wind)energieopwekking

➤ Team Energie-innovatie en Economie

Figuur 2: Overzicht mogelijke rollen bij circulaire windenergie voor Provincie Zuid-Holland.

1. Aanleiding, doel en onderzoeksopzet

Aanleiding

De Rijksoverheid wil dat Nederland in 2050 volledig circulair is en dat de energievoorziening bijna helemaal duurzaam is. Zuid-Holland is de dichtstbevolkte provincie van Nederland en een grote motor van de nationale economie. Dat geeft Zuid-Holland een belangrijke rol in de transitie naar duurzame energie en een circulaire economie. Een belangrijk doel is daarom om duurzame energie op te wekken en gebruik en verspilling van grondstoffen te verminderen. Dit zorgt ervoor dat de provincie concurrerend kan blijven én we onze inwoners een prettige en gezonde leefomgeving kunnen bieden met een positief effect op de impact van Zuid-Holland op mens, milieu en natuur.

Windenergie op land is op dit moment een van de goedkoopste en meest efficiënte bronnen van duurzame elektriciteit en is daarmee onmisbaar in de transitie naar een duurzaam energiesysteem. Zuid-Holland heeft als doel om eind 2023 tenminste 735,5 MW aan opgesteld windvermogen te realiseren. Daarnaast is in het Klimaatakkoord afgesproken dat Nederland in 2030 ten minste 35 TWh duurzame elektriciteit opwekt. De verwachting is dus dat de komende jaren nieuwe windparken gerealiseerd gaan worden en daarnaast zullen er ook veel windparken aan het einde van hun levensduur worden ontmanteld. Dit gaat om grote hoeveelheden materialen en circulair hergebruik van de turbines is dan ook belangrijk. Deze opdracht verkent de mogelijkheden voor circulariteit van windenergie op land in Zuid-Holland.

Doel

Het doel van dit onderzoek is erachter komen **wat de rol van provincie Zuid-Holland is bij circulaire windenergie**. We focussen ons op windparken in Zuid-Holland en de rol van de provincie, maar kijken ook hoe de provincie bij kan dragen om de nationale en Europese transitie naar circulaire windenergie te versnellen.

Onderzoeksopzet

Het onderzoek bestaat uit vier delen:

- Stakeholders windenergie en circulariteit
- Vooruitzicht windindustrie en materiaalstromen
- Circulariteitsstrategieën voor windenergie
- Rollen van de provincie

Voor dit onderzoek hebben we een literatuuronderzoek gedaan en gesproken met verschillende collega's binnen provincie Zuid-Holland en externe stakeholders, zie de vragen in Bijlage 1. Dit geeft een inzicht in de stakeholders in de keten, de materiaalstromen die de komende jaren beschikbaar komen bij de ontmanteling van windparken, circulariteitsstrategieën en verschillende mogelijke manieren waarop de provincie bij kan dragen aan circulaire windenergie.

2. Stakeholders windenergie en circulariteit

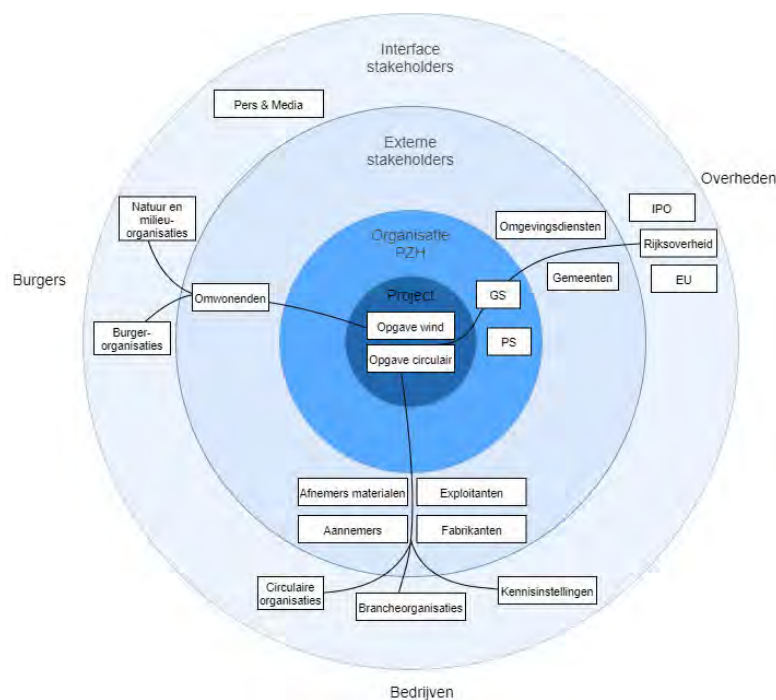
Om een overzicht te krijgen van de betrokken partijen bij circulariteit van windenergie, hebben we een stakeholderanalyse uitgevoerd. Eerst wordt de huidige rol van de provincie bij windenergie besproken. Voor de stakeholderanalyse is eerst een overzicht gemaakt van de belangrijkste stakeholders, vervolgens een prioritering gemaakt en ten slotte zijn de relaties tussen stakeholders aangegeven.

Huidige rol provincie

Voor de stakeholderanalyse, is het eerst nuttig om de huidige rol bij windenergie van de provincie en overheden toe te lichten. Volgens de huidige elektriciteitswet, is het Rijk bevoegd gezag voor windparken vanaf 100 MW, provincies tussen 5-100 MW en gemeenten onder 5 MW ([RVO, 2019](#)). Provincie Zuid-Holland draagt haar bevoegdheden bij windparken tussen 5-100 MW vaak over aan gemeenten, waardoor gemeenten binnen Zuid-Holland meestal bevoegd gezag zijn. Wel ondersteunt de provincie gemeenten bij de

aanleg van windparken door het delen van kennis.

De gezamenlijke provincies hebben met het Rijk afgesproken om 6000 MW aan windenergie op land te realiseren voor 2023 ([Provincie Zuid-Holland](#)). Voor Zuid-Holland is de ambitie om hiervan 735,5 MW aan windenergie te plaatsen. Hier is dus sprake van een nationale ambitie, die is vertaald in een provinciale ambitie. Rond circulariteit is een vergelijkbaar geval. Het doel van het Rijk is: [Nederland volledig circulair in 2050](#). Ook hier volgt de provincie de doelstelling van het rijk ([Provincie Zuid-Holland, 2019](#)).



Figuur 3: Relaties tussen stakeholders rond circulaire windenergie.

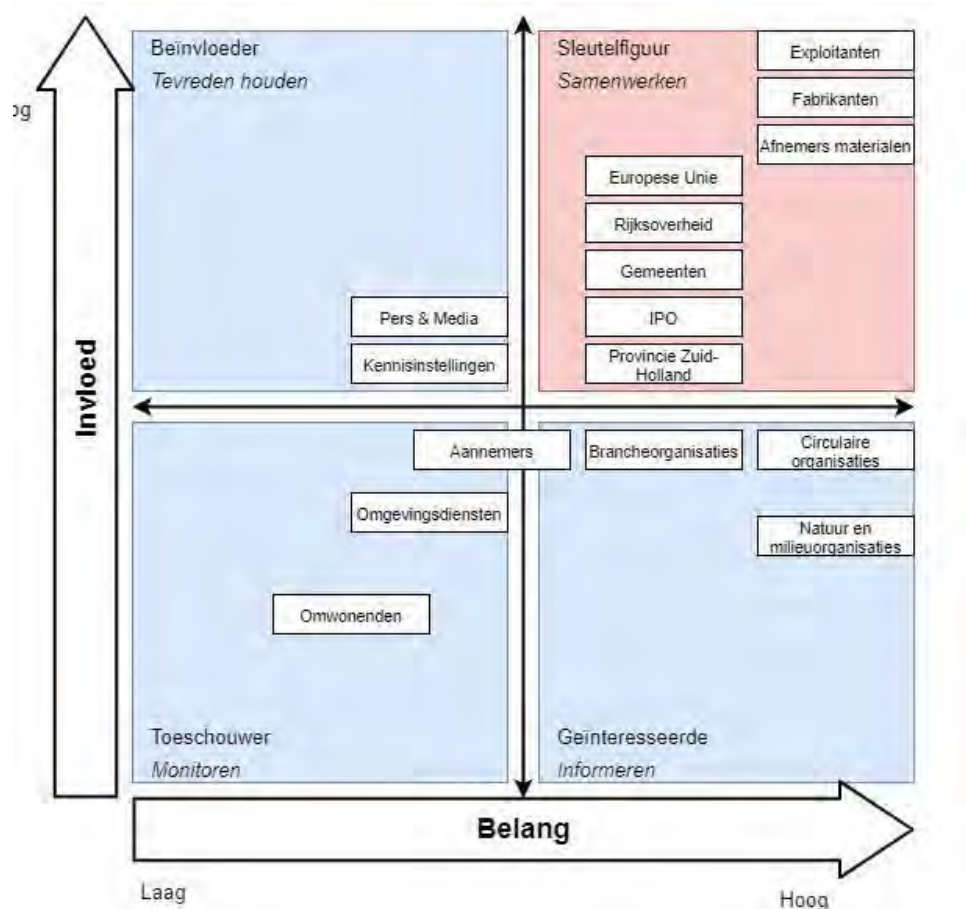
Stakeholderanalyse

In de stakeholderanalyse is eerst een overzicht gemaakt met de belangrijkste stakeholders bij circulaire windenergie. Hierna zijn de relaties tussen deze stakeholders onderzocht. De stakeholders zijn grotendeels onder te verdelen in burgers, overheden en bedrijven, zie Figuur 3.

De stakeholders bij circulariteit van windenergie zijn vervolgens geprioriteerd met behulp van [Mendelow's matrix](#). Er is een

inschatting gedaan van de belangen en invloed van de verschillende partijen, het resultaat is te zien in Figuur 4.

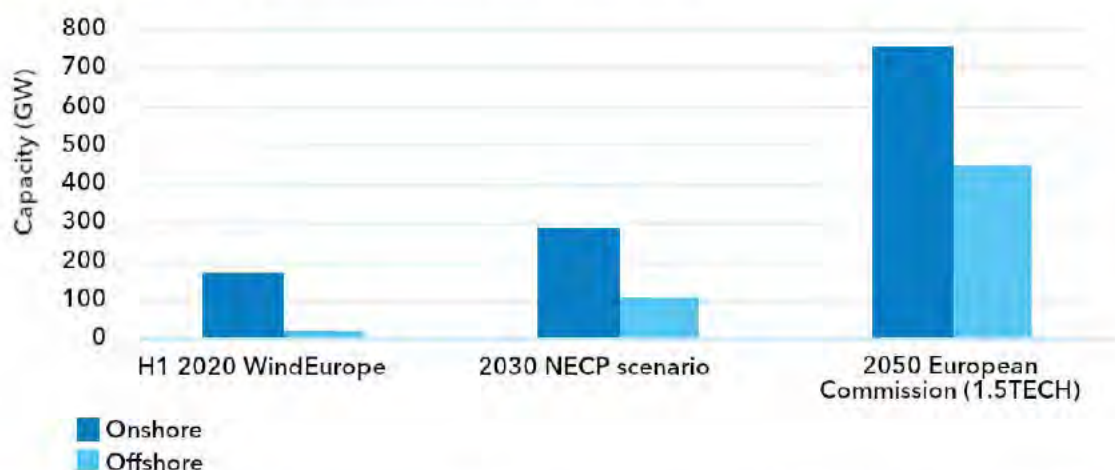
De stakeholders zijn grotendeels hetzelfde als bij de bouw van een nieuw windpark. Het belang en invloed van stakeholders is echter wel anders, omdat het hier gaat over het toepassen van circulariteit bij windparken. De stakeholders met het grootste belang en invloed zijn uitgenodigd voor gesprekken voor de rest van dit onderzoek.



Figuur 4: Prioritering van stakeholders rond circulaire windenergie met behulp van Mendelow's Matrix.

3. Vooruitzicht windindustrie en materiaalstromen

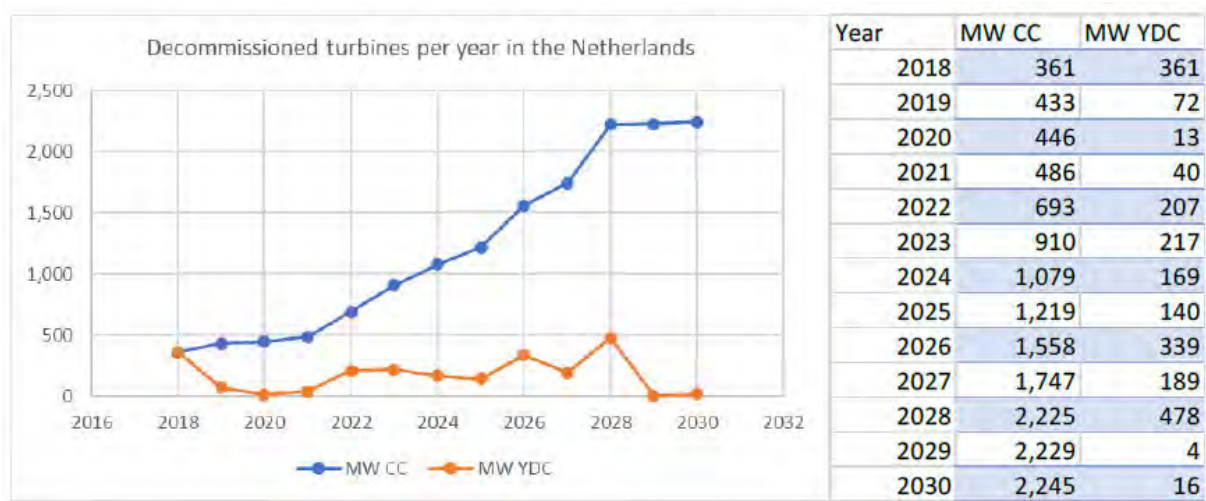
Reguliere windturbines leveren in Zuid-Holland op dit moment de grootste bijdrage aan de opwek van duurzame energie. Maar wat zijn de vooruitzichten voor de komende decennia voor de bouw en repowering van windturbines? En wat zijn de resulterende materiaalstromen? Dit hoofdstuk is tot stand gekomen met een literatuuronderzoek.



Figuur 5: Windenergie scenario's voor Europa: NECP-scenario en Europese Commissie lange-termijn strategie (ECHT, 2021).

Vooruitzicht windindustrie

Om de doelen uit het Parijsakkoord en de Europese Green Deal te halen, heeft de EU ambitieuze doelen gesteld voor windenergie (European Commission, 2020). De verwachting is dat deze strategie ervoor zorgt dat de windcapaciteit in Europa de komende 10 jaar zal verdubbelen en tot 2050 zal verzesvoudigen ten opzichte van 2020, zie Figuur 5. Het is de vraag of en in Nederland en vooral in Zuid-Holland zo'n grote vermenigvuldiging van wind op land zal plaatsvinden door een gebrek aan ruimte, maar ook hier is de verwachting dat de capaciteit van windturbines nog zal toenemen. Verder zullen windparken aan het eind van hun levensduur worden vervangen (repowering), waar ook materialen voor nodig zijn.



Figuur 6: Schatting van ontmantelde turbines voor wind op land en wind op zee in Nederland (ECHT, 2018)¹.

De ontmantelde turbines in MW zijn berekend in cumulatieve capaciteit (CC) en jaarlijkse ontmantelde capaciteit (YDC). 2018 vertegenwoordigt alle MW ontmanteld tot en met 2018. De schatting van materialen per windturbine is 100/150 ton per MW, zonder de fundering, kabels en onderstations. Als deze wel worden meegenomen, kan het gewicht per MW toenemen tot 600 ton (waarvan 400 ton beton).

Let op, vanwege vergunningsunieke aanpassingen, ruime saneringstijd en het soms eerder afbreken van parken dan gepland kan een aantal MW opschuiven tussen de jaren.

Materiaalstromen bij ontmanteling windturbines

Zoals hiervoor genoemd zullen de komende jaren nog veel turbines in Nederland worden bijgebouwd, maar er zullen ook veel windturbines worden afgebroken. Deze zijn aan het einde van hun economische levensduur en zullen nog ergens anders in zijn geheel of als onderdelen worden hergebruikt, (deels) worden gerecycled of verbrand. ECHT¹ heeft een inschatting gemaakt van de materiaalstromen bij de ontmanteling van windturbines tot 2030, zie Figuur 6. De eerste grote hoeveelheid windturbines komt in 2022. Wat opvalt is dat in 2029/2030 nauwelijks projecten op de saneringsplanning staan. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het veranderen van vergunningsduur 25 jaar terug. ECHT verwacht richting 2050 te zien dat deze lijn verder exponentieel oploopt richting 2000/3000 MW per jaar in 2050.

Windenergie en circulariteit in Provincie Zuid-Holland

Zuid-Holland is de meest dichtbevolkte provincie van Nederland en op veel mogelijke locaties voor windenergie staan al parken of zijn plannen voor de komende jaren. Daarna is het onduidelijk of er nieuwe windparken bijkomen, dit hangt voor een groot deel af van de keuzes die worden gemaakt in de RES'en. Wel zullen op veel bestaande locaties windparken worden gerepowered of mogelijk uitgebreid. Als wordt gekeken naar het scenario uit Figuur 6 van Nederland, is de verwachting dat de komende decennia ook in Zuid-Holland nog veel turbines zullen worden ontmanteld.

[De provincie Zuid-Holland wil in 2050 100% circulair zijn](#). Hiervoor wordt gebouwd aan een economisch programma dat de transitie naar duurzaam, digitaal en circulair stimuleert. Ook de eigen inkoop van de provincie wordt zoveel mogelijk circulair en duurzaam ingericht.

¹ ECHT (2018). *Decommissioned wind turbines per year in the Netherlands*.

4. Circulariteitsstrategieën voor windenergie

Voor de overgang van een lineaire naar een circulaire economie bestaan verschillende circulariteitsstrategieën. Deze zijn op een rij gezet in Figuur 7. Hieronder kijken we naar de circulariteitsstrategieën op de R-ladder en hun toepassing op windenergie.

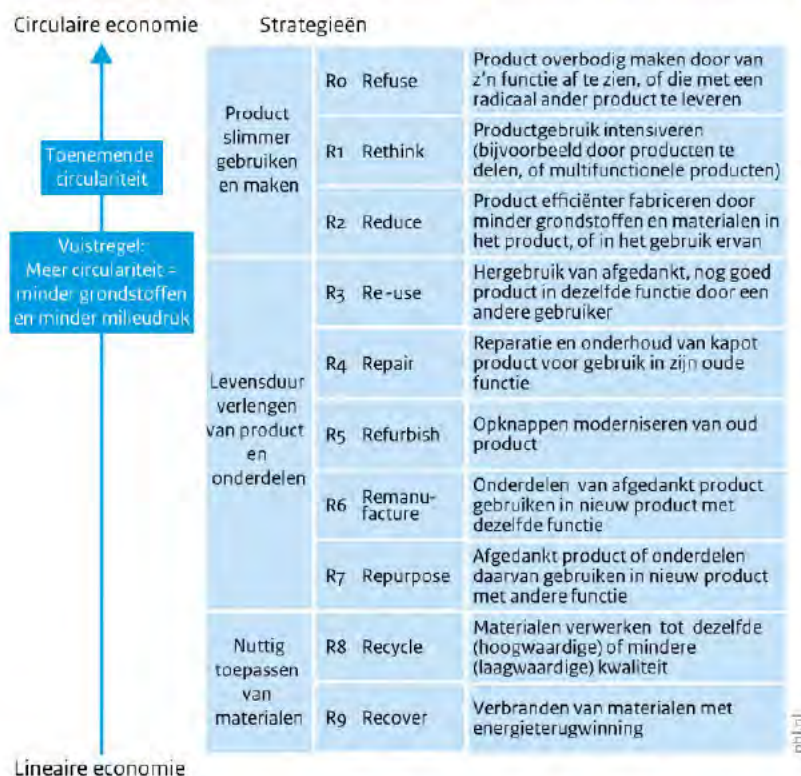
Achtergrond circulariteit

Circulaire economie is gericht op een optimaal (her)gebruik van grondstoffen. De grondstoffen worden gebruikt in een toepassing met de hoogste waarde voor de economie en de minste schade voor het milieu ([Rood & Hanemaaijer, 2017](#)). Dit is belangrijk bij het verminderen van milieuproblemen, zoals klimaatverandering en biodiversiteitsverlies. Ook verkleint een circulaire economie de risico's voor de leveringszekerheid van bijvoorbeeld zeldzame aardmetalen, die nodig zijn voor technologieën in de energietransitie, waaronder voor windturbines ([PBL, 2021](#)).

Overzicht circulariteitsstrategieën

Figuur 7 geeft een overzicht van tien verschillende circulariteitsstrategieën. Van R₉ naar R₀ is oplopend in circulariteit, wat betekent dat materialen langer in een productketen blijven en na afdanking van het product opnieuw toegepast kunnen worden. R₀ en R₁ leiden overigens niet tot het langer circuleren van grondstoffen en materialen, maar wel tot minder materiaalgebruik in de productketen.

Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën en rol van innovatie in productketen



Figuur 7: Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën ([PBL, 2016](#)).

Toepassing circulariteitsstrategieën op windenergie

De strategieën uit Figuur 7 worden hier toegepast op windenergie. Dit is tot stand gekomen door gesprekken met collega's van provincie Zuid-Holland en externe partijen en wordt. [ECHT \(2021\)](#) heeft circulariteit van afzonderlijke elementen van windturbines onderzocht, met vergelijkbare resultaten.

Product slimmer gebruiken en maken (R₀ - R₂)

Deze eerste drie strategieën vragen om de meeste verbeelding, maar hebben dan ook de meeste positieve impact op circulariteit.

R₀ - Refuse – Om geen of minder reguliere windturbines te gebruiken voor de opwekking van energie, kan het energiegebruik omlaaggaan, kan er een andere manier van duurzame energieopwekking worden gebruikt of een heel ander ontwerp voor opwekking van windenergie worden gebruikt. Het is echter niet de verwachting dat het energiegebruik omlaaggaat, het lijkt erop dat de vraag naar elektriciteit alleen maar zal stijgen door het elektrificeren van transport en industrie ([TNO, 2021](#)). Ook kunnen er in de toekomst andere duurzame manieren van duurzame energieopwekking worden ontwikkeld. In de huidige plannen tot 2030 worden echter zonne- en windenergie als belangrijkste duurzame energiebronnen gezien. Verder zouden er in de toekomst hele andere ontwerpen voor opwekking van windenergie kunnen worden gebruikt. Als zo'n nieuw ontwerp de reguliere windturbines uit de markt zou verdrijven, zal het echter nog jaren duren voordat dit het geval is.

R₁ - Rethink – Intensiveren is mogelijk voor de netaansluiting door [cable pooling](#), waarbij de netaansluiting van een windpark wordt gedeeld met zonneparken. Naast verminderd materiaalgebruik, scheelt dit ook in de netkosten van windparken. Voor de turbines zelf is intensiveren echter lastiger.

R₂ - Reduce – Fabrikanten zijn constant bezig met het reduceren van materiaalgebruik door nieuwe ontwerpen zo efficiënt mogelijk te maken. Hier zit al jaren ontwikkeling in, dus het is niet de verwachting dat hier grote doorbraken in gaan komen.

Van de bovenste 3 treden van de R-ladder lijken de grootste mogelijkheden te zijn voor verminderd gebruik van de huidige windturbines door het gebruik van andere manieren van energieopwekking of hele andere ontwerpen voor opwekking van windenergie. Aan onderzoeken naar dit laatste draagt de provincie ook al bij met investeringen, onder andere in [KitePower](#). Echter blijft het zo dat er meer dan 100 turbines in Zuid-Holland staan en er de komende jaren nog nieuwe turbines bij gaan komen. Daarom richt dit onderzoek zich voornamelijk op het verlengen van de levensduur (R₃-R₇) en recyclen van materialen (R₈).

Levensduur verlengen van product en onderdelen (R₃-R₇)

Hoewel de technische levensduur van turbines tegenwoordig 25-35 jaar is, worden turbines in Nederland vaak al na 15-20 jaar afgebroken. Het verlengen van de levensduur kan dus een grote impact hebben op de circulariteit van windenergie.

R₃ - Re-use – Door de vraag naar een groter vermogen op hetzelfde oppervlakte bij repowering, strengere veiligheidseisen en een lagere elektriciteitsprijs in Nederland dan in andere landen, worden oude turbines regelmatig afgebroken in Nederland om in een ander land te worden hergebruikt. Dit is een goede manier van R₃, al is een aandachtspunt wat er gebeurt met de turbines in het buitenland nadat ook daar het einde van de levensduur is bereikt.

R₄ - Repair – Er wordt onderhoud gepleegd aan windturbines om te voldoen aan de door fabrikant gecertificeerde levensduur. De mogelijkheid tot verdere verlenging van levensduur wordt toegelicht bij R₅ – Refurbish.

R₅ - Refurbish – Vaak is het mogelijk om de levensduur verder te verlengen na de door de fabrikant gecertificeerde levensduur. Hiervoor is groter onderhoud nodig, met eventueel het vervangen van grote of kostbare onderdelen (refurbishing). Dit gebeurt in Nederland niet vaak, met name door de businesscase en de duur van vergunningen en grondcontracten. In de businesscase wordt een vergelijking gemaakt tussen de kosten voor onderhoud en

de opbrengst in de resterende jaren. Verder is repowering met grotere en efficiëntere turbines vaak een betere business case. Daarnaast is de vergunnings- en grondcontractduur met overheden meestal niet langer dan 20-25 jaar. Door mee te kijken naar de businesscase en duur van vergunningen en contracten, is er ruimte om de levensduur van turbines in Nederland te verlengen.

R₆ - Remanufacture – Nieuwe turbines hebben vaak een nieuw ontwerp met andere afmetingen. Daarom worden gebruikte onderdelen niet vaak in nieuwe turbines gebruikt. Wel komt het voor dat onderdelen worden hergebruikt bij de refurbishing van bestaande windparken.

R₇ - Repurpose – Sommige onderdelen kunnen in een andere functie worden gebruikt. Een voorbeeld hiervan het hergebruik van de rotorbladen in [een speeltuin in Rotterdam](#). Er lijken niet veel van dit soort toepassingen te zijn, dus de verwachte impact van R₇ is niet groot.

Er wordt vaak over het verlengen van de levensduur heen gekeken, maar hier is toch veel impact te maken. Door de levensduur van windparken te verlengen van 15-20 jaar naar 25-35 jaar, kunnen de treden R₃-R₇ een grote bijdrage leveren aan circulariteit.

Voornamelijk groot onderhoud en refurbishen (R₄ en R₅) en zijn hier belangrijk bij, waarvoor kan worden gekeken naar de businesscase en de vergunnings- en grondcontractduur. Verder komt re-use (R₃) al veel voor door hergebruik van turbines in het buitenland, waarbij wel de ontmanteling aan het einde van de levensduur op de nieuwe locatie een aandachtspunt is.

Nuttig toepassen van materialen (R₈-R₉)

Dit zijn de onderste treden van de ladder, maar zullen toch een belangrijke rol gaan spelen in circulariteit van windenergie.

R₈ - Recycle – Na de ontmanteling van een windturbine wordt het grootste deel van de windturbine al gerecycled in Nederland. Het staal van de mast en gondel en de zeldzame aardmetalen in de gondel worden meestal hoogwaardig hergebruikt door hun hoge restwaarde, in nieuwe turbines of in andere

producten. Het beton uit de fundering of mast kan worden hergebruikt, maar vaak met een laagwaardige toepassing, bijvoorbeeld als wegfundering. De bladen zijn het lastigst te recycleren omdat ze grotendeels bestaan uit composiet. Er bestaan laagwaardige toepassingen, zoals hergebruik in stoeptegels, beton en meubels. Echter is voor nieuwe turbines steeds nieuwcomposiet nodig.

Daarom is een hoogwaardige recycling van rotorbladen gewenst. Er zijn partijen die over drie jaar de technologie hiervoor willen introduceren, maar het zal naar verwachting langer duren voordat dit ook op de markt beschikbaar is. Deze technologie gebruikt andere materialen en is daarom alleen beschikbaar voor nieuwe windturbines.

Bladen van turbines die hiervoor zijn gebouwd, zullen waarschijnlijk alleen op laagwaardig kunnen worden gerecycled.

R₉ - Recover – Het verbranden van turbinebladen levert een beperkte energierugwinning en zorgt voor een groot verlies van hoogwaardige composiet. Daarom is deze stap ongewenst voor de circulariteit van windenergie.

Na producten slimmer gebruiken en maken (R₀-R₂) en levensduur verlengen (R₃-R₇), zorgt recycling (R₈) ervoor dat het materiaalgebruik van windenergie volledig circulair kan zijn. Voor bladen worden nieuwe technologieën ontwikkeld, die naar verwachting over een aantal jaar beschikbaar zullen zijn voor nieuwe windturbines.

Toekomstig gebruik van circulariteitsstrategieën voor windenergie

Hierboven zijn de circulariteitsstrategieën toegepast op windenergie. Zoals daar al is beschreven, worden sommige strategieën al (veel) gebruikt, terwijl andere nog meer kunnen worden gebruikt. Dit komt deels doordat er nog onderzoek nodig is, bijvoorbeeld naar recycling van turbinebladen. Daarnaast wordt circulariteit wordt soms gezien als een extra drempel bij de realisatie van een windpark omdat ook andere factoren zijn zoals natuurinclusiviteit, omwonenden en lokaal eigenaarschap. Wat direct geld oplevert voor de markt wordt al gedaan (re-use, eerste stappen verlengen technische levensduur),

maar sturing of financiering van de overheid is nodig waar de businesscase voor circulariteit op dit moment nog niet positief is. Strategieën die nog meer kunnen worden gebruikt staan in Figuur 8 en worden hieronder beschreven.

Product slimmer gebruiken en maken

R₀ - Refuse – Nieuwe manieren van opwekken van windenergie met minder materiaalgebruik kunnen ervoor zorgen dat de huidige reguliere windturbines niet meer nodig zijn. Hiervoor is nog wel onderzoek en een ontwikkeling in de markt nodig.

Verlengen levensduur

R₄ - Repair & R₅ - Refurbish – Met groot onderhoud en refurbishen van windturbines kan de technische levensduur van windparken worden verlengd. Hiervoor is wel een goede businesscase en een voldoende lange termijn van de vergunning en het grondcontract nodig. Hiernaast geven externe partijen in gesprek met ons aan om hiervoor aanvullende circulaire criteria in aanbestedingen of eisen in vergunningen toe te voegen, waardoor er een gelijk speelveld is voor alle partijen en de

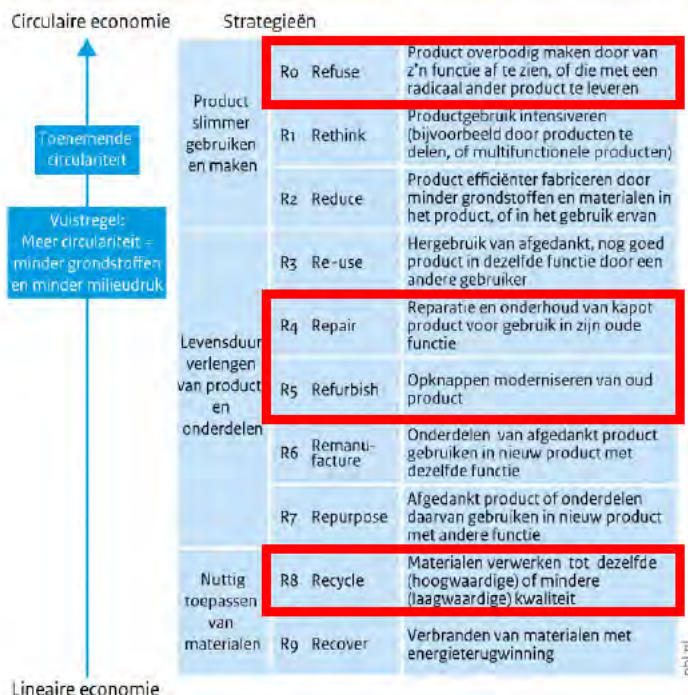
markt richting circulariteit wordt gestuurd.

Nuttig toepassen van materialen

R₈ - Recycle – Als de turbine aan het einde van zijn technische levensduur is, kunnen de meeste materialen al goed worden gerecycled. Een uitzondering hierop zijn de turbinebladen, waarvoor nog geen goede technische oplossing is. Hiervoor is nog meer onderzoek nodig. Ook voor recyclen hebben externe partijen aangegeven om circulaire criteria of eisen te stellen. Hierbij geven deze partijen aan dat het voor de markt voordelig is om zo snel mogelijk duidelijkheid over te scheppen over het invoeren van deze eisen of criteria in de toekomst. Op deze manier is er voor fabrikanten en materiaalverwerkers extra reden om zelf te investeren in de ontwikkeling van technieken voor het verwerken van bestaande turbines op de korte termijn en het ontwikkelen van beter verwerkbare turbinebladen op de middellange termijn.

Door bovenstaande strategieën te stimuleren kan de provincie bijdragen aan een circulaire toekomst van windenergie in Zuid-Holland.

Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën en rol van innovatie in productketen



Prioriteitsvolgorde van circulariteitsstrategieën (PBL, 2016).

Figuur 8: Circulariteitsstrategieën met te stimuleren strategieën door provincie Zuid-Holland



5. Rollen van de provincie

Naast circulariteitsstrategieën die al worden toegepast bij windenergie, komt uit het vorige hoofdstuk naar voren dat andere nog niet of nauwelijks worden gebruikt. Door deze strategieën te stimuleren kan de provincie bijdragen aan een circulaire toekomst van windenergie. Uit de gesprekken met collega's van provincie Zuid-Holland en externe partijen komen verschillende rollen die de provincie in kan vullen om deze strategieën te stimuleren. Er zijn grofweg vier rollen te onderscheiden, (zie Figuur 9): beleid maken rond circulaire eisen en criteria voor vergunningen en aanbestedingen en deze kennis delen met andere overheden, lobbyen voor nationaal en Europees circulair beleid, duur van grondcontracten aanpassen en bijdragen aan Zuid-Hollandse circulaire innovaties voor energieopwekking.

Circulaire criteria en eisen voor aanbestedingen en vergunningen

Om de markt te stimuleren om meer circulaire strategieën toe te passen, kunnen aanbestedingen en vergunningen de basis zijn. Door eisen in vergunningen te stellen aan circulariteit of criteria rond circulariteit toe te voegen bij een aanbesteding als een overheidsorganisatie de grondeigenaar is, wordt circulariteit gestimuleerd. Hiermee is er een gelijk speelveld voor alle partijen die een windpark willen bouwen. Als de overheid dit zo snel mogelijk invoert of aangeeft wanneer dit ingevoerd gaat worden, schept dit ook duidelijkheid voor de markt. Oplopende niveaus van eisen van circulariteit zijn ook mogelijk, om voor te sorteren op de ontwikkelingen die de komende jaren zullen plaatsvinden. Binnen deze rol zijn meerdere stappen te onderscheiden.

Allereerst moet de provincie **kennis opdoen** om de juiste eisen of criteria te stellen bij een vergunning of aanbesteding. Hiervoor is een start gemaakt in samenwerking met Gemeente Rotterdam en Provincie Noord-Holland en wordt verder gewerkt samen met verschillende partijen binnen de Policy Hub

van [The Circular Wind Hub](#). De volgende stap is het **toepassen van deze kennis in een pilot** waarbij een gemeente of provincie grondeigenaar is, om te kijken wat dit in de praktijk oplevert. Zo een pilot kan eventueel eenmalig met subsidie worden ondersteund, als leergeld voor toekomstige aanbestedingen. Met de kennis en ervaring van de pilot, is de volgende stap het **opnemen van eisen en criteria in beleid** rond vergunningen en aanbestedingen. Dit kan zowel voor de provincie Zuid-Holland als gemeenten. Met de kennis van de eerdere stappen, kan de provincie de rol spelen van het **ondersteunen van gemeenten**. Op deze manier kunnen ook gemeenten circulariteit in hun beleid rond windenergie opnemen.

Lobbyen voor nationaal en Europees circulair beleid

Naast het opnemen van eisen en criteria in beleid voor de provincie Zuid-Holland en haar gemeenten, kan de provincie ook samen met andere partijen lobbyen voor een circulair beleid op grotere schaal (Nederland of EU) voor windenergie. Met **financiering voor onderzoek naar circulaire strategieën** zoals verlengen van levensduur en recycling van de

Rijksoverheid of de EU, zijn technische oplossingen sneller beschikbaar. Daarnaast zouden **circulaire eisen in vergunningen op nationale of Europese schaal** kunnen worden toegepast, zo kunnen er naast wind op land ook circulaire eisen worden gesteld voor wind op zee. Hiermee wordt een grotere vraag gecreëerd naar circulaire windturbines en ontmanteling, wat resulteert in een grotere impact. Verder is het alleen op deze grotere schaal mogelijk om iets te doen aan **producentenverantwoordelijkheid** van materialen bij de ontmanteling van turbines na hergebruik ([PBL, 2021](#)). Bij het verkopen van turbines naar andere landen voor hergebruik is het namelijk lastig om circulariteit te garanderen, waar een nationale of Europese aanpak wel aan bij kan dragen. Ten slotte kan de provincie **lobbyen voor circulaire criteria in nationale of Europese subsidies**, bijvoorbeeld in de [SDE](#). Dit is een extra stimulans voor bedrijven om een voorloper te zijn in circulaire windenergie.

Duur van grondcontracten

De provincie kan ook de **duur van grondcontracten verlengen** tot een minimale duur van 25 jaar te geven waar mogelijk, met optie tot verlenging tot bijvoorbeeld 35 jaar. Zo wordt groot onderhoud en refurbishen van turbines gestimuleerd en kan de volledige technische levensduur van windturbines worden gebruikt. Ook hier kan provincie Zuid-

Holland eerst haar gemeenten en daarnaast andere provincies motiveren om langere grondcontracten af te sluiten met energieproducenten.

Innovaties voor energieopwekking in Zuid-Holland stimuleren

Omdat de composiet uit turbinebladen op dit moment het lastigste deel van windturbines is om te recyclen, kan de provincie **investeren in Zuid-Hollandse bedrijven die werken aan innovaties voor recycling van turbinebladen**. Daarnaast kan een radicaal ander ontwerp voor (wind)energieopwekking in de toekomst ook een grote bijdrage leveren aan een duurzame en circulaire energieopwekking. Een kleiner materiaalgebruik per opgewekte energie, langere levensduur of betere recyclingmogelijkheden in vergelijking met reguliere windturbines zijn goede circulaire indicatoren voor een innovatie als meer circulair initiatief. Daarom kan de provincie **investeren in Zuid-Hollandse bedrijven die werken aan circulaire alternatieve manieren van (wind)energieopwekking**. Dit kan zowel in de startupfase als commercialiseringsfase van een innovatie. Hiervoor zijn al verschillende fondsen in Zuid-Holland aanwezig, zoals [Uniq](#), [Energiiq](#) en [innovatieprogramma Energie & Klimaat](#). Door te blijven investeren in circulaire innovaties, kunnen Zuid-Hollandse bedrijven een bijdrage leveren aan circulaire duurzame energieopwekking, zowel binnen als buiten de provincie.

Rollen van de provincie

Vergunningseisen en criteria voor aanbestedingen

- Kennis opdoen
- Pilot
- Toepassen in beleid
- Gemeenten ondersteunen

➤ Team Windenergie

Lobbyen bij Rijk en EU

- Financieren onderzoek recycling turbinebladen
- Beleid over vergunningseisen
- Producentenverantwoordelijkheid
- Circulaire component in subsidie (SDE)

➤ Team Windenergie en Circulair

Grondcontracten verlengen

- Verlengen naar 25-35 jaar

➤ Team Windenergie en Ontwikkeling en grondzaken

Investeren in innovatieve Zuid-Hollandse bedrijven

- In recycling turbinebladen
- In circulaire alternatieve manieren van (wind)energieopwekking

➤ Team Energie-innovatie en Economie

Figuur 9: Overzicht van mogelijke rollen bij circulaire windenergie voor Provincie Zuid-Holland.

Uitdagingen

De vier bovenstaande rollen voor de provincie kunnen bijdragen aan circulaire windenergie in de toekomst. Daarbij zijn nog wel 2 uitdagingen voor de provincie om deze rollen op te pakken.

Ten eerste bestaat er een mogelijke spanning tussen de snelle en betaalbare realisatie en circulariteit van windenergie. Circulariteit is vergeleken met het huidige proces van realisatie een extra element om rekening mee te houden en circulariteit van sommige onderdelen is op dit moment duurder. Echter

kunnen de bovengenoemde rollen van de provincie ervoor zorgen dat circulariteit op prijs kan concurreren met het huidige lineaire systeem en steeds normaler wordt bij de realisatie van windparken.

Daarnaast is er ruimte nodig voor circulaire windenergie, omdat turbines of turbine-onderdelen moeten worden vervoerd, tijdelijk worden opgeslagen of worden refurbished of recycled. Voor het ruimtelijke vraagstuk van circulariteit wordt gewerkt aan een [Ruimtelijke strategie Circulair Zuid-Holland](#).

6. Conclusies en Aanbevelingen

Conclusies

Voor windenergie wordt een aantal circulariteitsstrategieën al veel gebruikt, zoals R_3 - Re-use, waarbij turbines worden verkocht en hergebruikt in het buitenland, R_4 - Repair bij regulier onderhoud en R_8 - Recycle bij de ontmanteling van het grootste deel van windturbines.

Deze strategieën kunnen echter nog meer worden gebruikt voor een grotere circulariteit van windenergie. R_0 - Refuse kan worden toegepast door in de toekomst een meer circulaire manier van (wind)energieopwekking te gebruiken, R_4 - Repair en R_5 - Refurbish door de technische levensduur te verlengen met groot onderhoud en refurbishen met nieuwe onderdelen en R_8 - Recycle door ook de turbinebladen hoogwaardig te recyclen. Door deze strategieën te stimuleren, kan de provincie bijdragen aan een circulaire toekomst van Zuid-Holland.

Aanbevelingen

Uit gesprekken met collega's binnen provincie Zuid-Holland en externe partijen komen 4 rollen voor de provincie naar voren (zie Figuur 9), die de circulariteitsstrategieën stimuleren: beleid maken rond circulaire eisen en criteria voor vergunningen en aanbestedingen en deze kennis delen met andere overheden, lobbyen voor nationaal en Europees circulair beleid, duur van grondcontracten aanpassen en bijdragen aan Zuid-Hollandse circulaire innovaties voor energieopwekking.

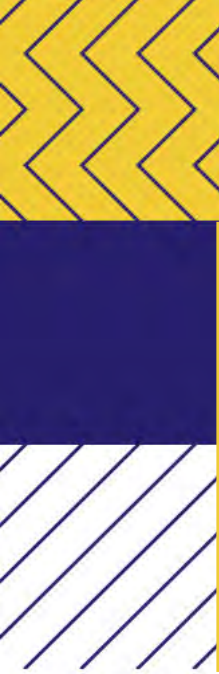
Circulaire criteria en eisen voor aanbestedingen en vergunningen kunnen

worden gebruikt om de markt stimuleren om de levensduur van turbines te verlengen en materialen nuttig toe te passen. Hiervoor moet eerst kennis worden opgedaan, deze worden toegepast in een pilot en vervolgens in het beleid van de provincie en gemeenten worden opgenomen. Om gemeenten hierin te ondersteunen, speelt de provincie een ondersteunende rol. Met de opgedane kennis en ervaring uit de pilot kunnen ook andere provincies hierbij aansluiten.

Ook een langere duur voor grondcontracten helpt om het aantrekkelijk te maken voor energieproducenten om de technische levensduur van windturbines te verlengen door groot onderhoud en refurbishen. Naast de rollen van de provincie binnen Zuid-Holland zelf, kan de provincie ook lobbyen voor nationaal en Europees beleid voor een grotere impact. Op deze grotere schaal kan onderzoek naar circulaire innovaties worden gefinancierd, kunnen circulaire eisen op nationale of Europese schaal worden toegepast voor zowel wind op land als wind op zee, kan worden gewerkt aan producentenverantwoordelijkheid en kunnen subsidies partijen extra stimuleren om voorloper te zijn in circulariteit van windenergie.

Ten slotte kan de provincie circulaire criteria meenemen bij het investeren in Zuid-Hollandse bedrijven via innovatiefondsen.

Met deze rollen en door samen te werken met andere partijen kan de provincie bijdragen aan een circulaire toekomst van Zuid-Holland.



Bijlage 1 – gesprekken met externen

Voor de gesprekken met externen zijn de volgende vragen als basis gebruikt:

- Wat is circulariteit voor jullie?
- Wat doen jullie met circulair en wat zouden jullie willen doen?
- Waar lopen jullie tegenaan?
- Hoe zien jullie de rol van de provincie/overheid voor je?

Stichting Open

Baron de Coubertinlaan 7
2719 EN Zoetermeer
The Netherlands

Interprovinciaal Overleg



uw brief van

uw kenmerk

ons kenmerk

datum

RE 11138/2022

20 april 2022

onderwerp

Verzoek tot gesprek om te komen tot circulaire (markt)ontwikkeling en hoogwaardige recycling van zonnepanelen.

Geachte heer Vlak,

Met veel interesse hebben wij de 'Roadmap circulaire fotovoltaïsche industrie' van Stichting OPEN gelezen. Wij zijn positief over het voorstel dat u daarin beschrijft om te komen tot een circulaire markt voor zonnepanelen en een bijbehorend financieringsmechanisme. Net als u zijn we ons bewust van een enorme urgentie om de markt van zonnepanelen circulair in te richten. Daarbij kijken we niet alleen naar inzameling, verwerking, hergebruik en hoogwaardige recycling, maar ook naar wat we kunnen doen aan de voorkant van de waardeketen (productie, inkoop- en beleidskeuzes, subsidiecriteria en handelingsperspectief vanuit VTH-beleid¹). We hechten veel belang aan een ketenbrede systeemtransitie waar ook in het ontwerp en bij de inkoop van zonnepanelen aandacht moet zijn voor circulariteit en duurzaamheid. Er is een groeiend netwerk van experts en vernieuwers ontstaan die zich inzetten voor circulariteit binnen de brede waardeketen van zonne-energie. Vanuit onze provinciale rol bespreken wij graag met u hoe naast de bestaande markt ook dit bredere netwerk betrokken kan worden in de route naar een circulaire fotovoltaïsche industrie.

In 2050 willen we als provincies zowel klimaatneutraal zijn als een volledig circulaire economie hebben. Deze twee transities versterken elkaar aangezien circulaire maatregelen additionele CO₂-reductie opleveren. In de transitie naar duurzame energie spelen zonnepanelen een cruciale rol. De beperkte beschikbaarheid van de kritieke metalen en de overconsumptie van grondstoffen die nodig zijn om zonnepanelen te produceren is echter een groeiend risico voor het laten slagen van de energietransitie. Aangezien we voortgang willen boeken binnen de energietransitie delen we uw mening dat de inzet van zonnepanelen zo hoog mogelijk op de ladder van circulariteit moet plaatsvinden. Alleen op die manier kunnen we ervoor zorgen dat de snelheid van de energietransitie niet wordt afgeremd door een tekort aan grondstoffen en kunnen we als maatschappij de enorme retourstromen van zonnepanelen opnieuw gaan inzetten als waardevolle producten, materialen en grondstoffen.

¹ Provinciaal beleid dat toeziet op vergunningverlening, toezicht en handhaving

Inlichtingen bij : [redacted]
Email : [redacted]@pzh.nl
Bijlagen : 0

Om te komen tot een volledig circulaire inzet van zonnepanelen is een systeemtransitie nodig op alle onderdelen van de keten. Circulariteit is binnen de energietransitie echter nog onvoldoende verankerd in beleid of financieel instrumentarium. Dat heeft invloed op de versnellingspotentie en de bijbehorende business case voor circulaire zonnepanelen. De dynamiek van verschillende belangen en de onzekerheden in impact en kansrijkheid vragen om ketenbrede samenwerkingen en ruimte voor experimenten. Op die manier is het mogelijk om lerenderwijs te kunnen programmeren en bijsturen. Wij ervaren dat het stimuleren en verder ontwikkelen van de volgende drie onderdelen in de keten van circulaire zonnepanelen daarbij van cruciaal belang zijn:

1. Het hoogwaardig terugwinnen van grondstoffen uit panelen aan het einde van de levensduur

Vanuit het Klimaatakkoord en onze bijbehorende Regionale Energie Strategieën zetten we als provincies in op een grote groei van het aantal zonnepanelen in Nederland. Vanaf 2026 wordt tevens een aanzienlijke toename verwacht van het aantal afgedankte zonnepanelen. Het moment dat er op grote schaal zonnepanelen worden afgeschreven komt daarmee zorgwekkend snel dichterbij. Om panelen goed te kunnen recyclen, of te hergebruiken zoals beschreven in punt 2, is het van belang dat er een goed functionerend inzamelproces komt. Bij de inzameling van panelen is het van belang dat alle panelen worden beoordeeld op potentie voor hergebruik² en dat alle producenten een rol gaan spelen in het financieringsmechanisme, om daarmee freeriders gedrag te voorkomen. Het bedrag dat nodig is om dit proces in te richten moet hoog genoeg zijn om de kosten te dekken van het circulair inrichten van de gehele keten. Hierbij moet ook aandacht komen voor de circulaire productie van zonnepanelen aangezien circulaire panelen leiden tot lagere kosten voor hergebruik en hoogwaardigere terugwinning van materialen.

Een rol voor provincies: Wij willen graag vandaag starten met het van de grond krijgen van bovenstaande ontwikkeling om ervoor te zorgen dat er in uiterlijk in 2026 een infrastructuur voor hergebruik en hoogwaardige recycling gereed is in onze twaalf provincies. Wij nemen verantwoordelijkheid door het zo circulair mogelijk inkopen van zonnepanelen. Daarnaast willen we inzichtelijk maken welke belemmeringen de Rijksoverheid moet wegnemen om deze ontwikkeling mogelijk te maken. We willen hierin graag samen met u optrekken.

2. Oude panelen zo lang mogelijk gebruiken (ook eventueel tweedehands)

De huidige zonnepanelen gaan op dit moment gemiddeld 25 tot 30 jaar mee. Naar schatting wordt echter 20% van de zonnepanelen ruim voor het einde van de technische levensduur afgedankt, terwijl ze nog prima functioneren. Door de toenemende efficiëntie van nieuwe zonnepanelen en de focus vanuit de SDE++-regeling op opwekcapaciteit bestaat er een aantrekkelijke businesscase voor het installeren van nieuwe (niet circulaire) panelen. Daarom willen we ten eerste de Rijksoverheid aansporen om de eisen tegen het licht te houden die vanuit rijksregelingen worden gesteld, waaronder de SDE++-regeling. Daarnaast willen wij ons inzetten om lager renderende panelen die worden afgestaan alsnog een tweede leven te geven in Nederland.

² Op dit moment worden alleen de panelen die via WEEE Nederland wordt ingezameld beoordeeld op potentie voor hergebruik. Dat betreft slechts circa 30% van het totale aantal afgedankte panelen.

Daarvoor is nodig dat deze groep panelen niet wordt gezien als 'afval' maar gecertificeerd terugkomt op de markt. Stichting ZonNext³ heeft reeds een initiatief gestart, het Solar Weeshuis, om opnieuw inzetbare panelen te certificeren en aan te bieden aan mensen die financieel niet in staat zijn om zonnepanelen aan te schaffen. Deze tweedehandsmarkt van zonnepanelen moet op grotere schaal ontwikkeld worden om als materiaal besparende en sociale marktplaats te kunnen fungeren⁴. Voor oude panelen die naar het buitenland worden geëxporteerd zijn goede afspraken nodig over de vereiste kwaliteit van de panelen en over de route naar daadwerkelijke hoogwaardige verwerking.

Een rol voor provincies: Wij willen ons actief inzetten op ervoor te zorgen dat panelen langer kunnen worden ingezet of waar mogelijk een tweede leven kunnen krijgen. Wij dragen graag bij aan het benadrukken van het belang van het benutten van de technische levensduur en het juiste vervangingsmoment van zonnepanelen. Daarnaast willen wij organisaties zoals stichting ZonNext ondersteunen om zich in te zetten voor het hergebruiken van nog goed werkende zonnepanelen en door ze te verbinden aan potentiële afnemers uit onze provincies.

3. Nieuwe panelen circulair ontwerpen

Om de schaarse grondstoffen die nodig zijn voor de productie van nieuwe zonnepanelen zo goed mogelijk in te zetten spelen verschillende elementen een rol. Enerzijds is het van belang om nieuwe zonnepanelen zo duurzaam mogelijk te produceren, op basis van goed voorradige, weinig milieubelastende en liefst gerecyclede materialen. Aan de andere kant is het belangrijk dat nieuwe panelen zoveel mogelijk energie produceren, zo lang mogelijk meegaan, hergebruikt worden en tot slot aan het eind van de levensduur gerecycled worden. Het is een uitdaging aan de markt om circulaire belangen integraal af te wegen. Hiervoor zijn ondersteuning vanuit beleid, kennisopbouw en financiële instrumenten nodig.

Een rol voor provincies: De ontwikkeling van circulaire panelen is een snelgroeiende markt. Er zijn al bedrijven die circulaire zonnepanelen kunnen produceren tegen concurrerende prijzen mits de productie kan worden opgeschaald. Wij willen als provincies circulaire (markt)ontwikkelingen rondom zonnepanelen bevorderen, bijvoorbeeld via borging in het inkoopproces van overheden en andere stakeholders. Ook via vergunningverlening en subsidiëring kunnen wij hierop sturen. Graag gaan we met u in gesprek over de vraag hoe Stichting OPEN de Nederlandse marktvraag naar circulaire panelen⁵ wil helpen ondersteunen om zo ook minder afhankelijk te zijn van geopolitieke ontwikkelingen.

³ Een van die organisaties die zich inzet voor het hergebruiken van tweedehands zonnepanelen is Stichting ZonNext met hun initiatief genaamd het Solar Weeshuis (zie www.zonnext.nl).

⁴ De tweedehandsmarkt voor zonnepanelen is gebaat bij het inrichten van een certificeringssysteem, tevens voor panelen die worden toegepast in het buitenland. Tweedehands zonnepanelen worden veelal doorverkocht aan het buitenland. Er is weinig bekend over wat er gebeurt met deze panelen en hoelang panelen daar nog gebruikt worden. Daarnaast bestaat de zorg dat panelen in het buitenland vaak na afdanking niet netjes gedemonteerd en gerecycled worden maar rechtstreeks terecht komen op een stortplaats. Een internationaal statiegeldsysteem waardoor de panelen na gebruik hier weer terugkomen voor recycling zou daar een oplossing voor kunnen zijn. Bron: [Kennisnotitie-zonnepanelen.pdf \(zuid-holland.nl\)](#)

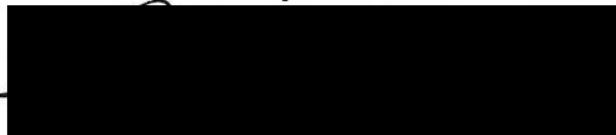
⁵ Om een productielijn voor circulaire zonnepanelen te kunnen ontwikkelen in Nederland wordt als stelregel aangegeven dat tenminste een volume van 100.000 panelen nodig is.

Wij, gedeputeerden uit de 12 provincies, zetten ons in voor een duurzame en circulaire transitie naar klimaatneutraliteit. Wij bespreken graag op korte termijn met u op welke wijze bovengenoemde activiteiten die wij als provincies in gang willen zetten uw activiteiten kunnen versterken. Wij leveren vanuit onze provincies graag een bijdrage aan de ontwikkeling van circulaire zonnepanelen, in samenwerking met partijen die hier al actief mee bezig zijn⁶. Dus vanzelfsprekend ook met u. Wij kijken met belangstelling uit naar uw reactie.

Met vriendelijke groet,

INTERPROVINCIAAL OVERLEG

Namens de Bestuurlijke Adviescommissie Regionale Economie



Gedeputeerde R.F. Douwstra

Portefeuillehouder Circulaire Economie

Een afschrift van deze brief sturen wij naar:

Drs. V.L.W.A. Heijnen, Staatssecretaris Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Drs. R.A.A. Jetten, Minister voor Klimaat en Energie

Mr. Drs. M.A.M. Adriaansens, Minister van Economische Zaken en Klimaat

Dhr. M. van Schalwijk, Voorzitter stichting ZRN

Dhr. J. Clyncke, Managing Director PV Cycle

Dhr. W. van Hooff, Algemeen Directeur Holland Solar.

⁶ Een voorbeeld van een initiatief van partijen die al actief werken aan circulaire zonnepanelen is onder andere het Fair Solar Netwerk, een initiatief dat is opgezet met ondersteuning vanuit de Provincie Zuid-Holland.



EEN CIRCULAIRE ENERGIETRANSITIE

*Verkenning naar de metaalvraag van het Nederlandse
energiesysteem en kansen voor de industrie*

00

SAMENVATTING

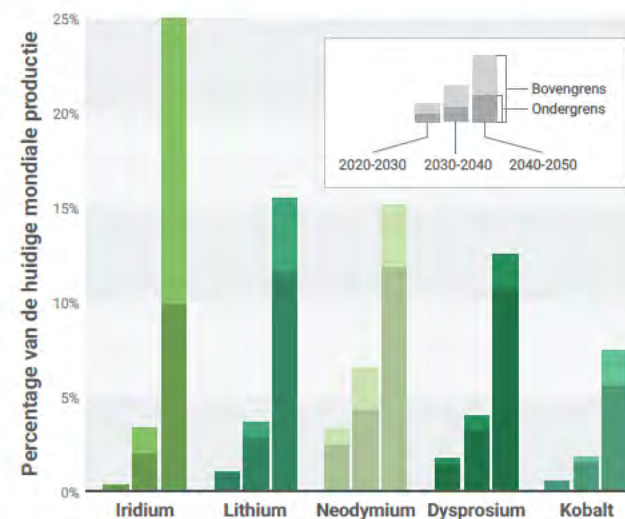
Er ontstaan steeds meer vragen over de beschikbaarheid van kritieke metalen voor de energietransitie. Deze verkenning geeft inzicht in de Nederlandse vraag naar kritieke metalen, biedt handelingsperspectief in hoe de metaalvraag kan worden verlaagd en laat zien welke kansen er liggen voor de Nederlandse industrie.

De beperkte beschikbaarheid van kritieke metalen is een groeiend risico voor de energietransitie. Om in 2050 een netto klimaatneutraal energiesysteem te kunnen realiseren, zijn veel kritieke metalen nodig voor de productie van duurzame opwek, transport en opslagtechnologieën. Zo groeit de jaarlijkse lithiumvraag voor de Nederlandse energietransitie naar gemiddeld 12-15% van de huidige wereldwijde productie in 2040-2050. Voor neodymium, dysprosium, praseodymium, iridium, kobalt en platina neemt de vraag toe tot ruim boven de 5% van de mondiale productie. Dit is significant meer dan het Nederlandse aandeel van het wereldwijd BNP (1,0%), finaal energieverbruik (0,5%) of aantal inwoners (0,2%).

Als gevolg van de snel groeiende vraag ontstaan er naar verwachting wereldwijd en in Nederland tekorten aan deze kritieke metalen. Dat kan de productie van opwek, transport en opslagcapaciteit voor de energietransitie vertragen, ook op de kortere termijn. Technisch is groei van de mijnbouwproductie mogelijk, maar opschaling hiervan en de opening van nieuwe mijnen heeft vaak een lange doorlooptijd (10-15 jaar). Daarnaast zorgt mijnbouw voor sociale en milieu impact en lopen de metaalconcentraties in ertsen langzaam maar zeker terug. Ook vinden mijnbouw en raffinage plaats in een beperkt aantal landen, waarbij China een dominante rol heeft in de ketens van meerdere kritieke metalen.

De risico's ten aanzien van de beschikbaarheid van materialen komen onvoldoende terug in huidig beleid rondom de energietransitie en circulaire economie. Op het gebied van de energietransitie ligt momenteel de focus op draagvlak, ruimtelijke inbedding en betaalbaarheid. Op het gebied van de circulaire economie zijn diverse initiatieven gestart, maar is een samenhangende en langjarige aanpak nodig. De beschikbaarheid van materialen wordt vooralsnog als een gegeven beschouwd. Materiaalgebruik moet één van de criteria worden op basis waarvan binnen de energietransitie keuzes worden gemaakt.

De risico's op onvoldoende beschikbaarheid van duurzame technologieën zijn groter bij klimaatneutrale energiescenario's waarin Nederland meer zelfvoorzienend is. Dit is het gevolg van de hoge metaalvraag van enerzijds systeembatterijen en anderzijds opwekcapaciteit voor wind en zonne energie. In energiescenario's waar meer energie wordt geïmporteerd (met name waterstof), verplaatst de metaalvraag voor de Nederlandse energiebehoefte naar het buitenland. Inzet op zowel energiebesparing, interconnectiviteit als innovatie helpt om de metaalvraag te beperken.



Figuur 1 Verwachte jaarlijkse vraag van vijf metalen voor de energietransitie.

Wij zien vier circulaire strategieën die een toekomstig tekort aan materialen kunnen beperken. Deze strategieën richten zich zowel op het verlagen van de vraag naar als het verhogen van het aanbod van kritieke metalen. Omdat inzetten op slechts één van deze strategieën onvoldoende effect heeft, is een combinatie van deze vier strategieën nodig.



Rethink: grootschalig besparen van energie en waar nodig herontwerpen van het energiesysteem om de benodigde duurzame opwek, transport en opslagcapaciteit te verlagen.



Reduce: aansturen op technologieën die minder kritieke metalen bevatten, zoals in windturbines of systeembatterijen.

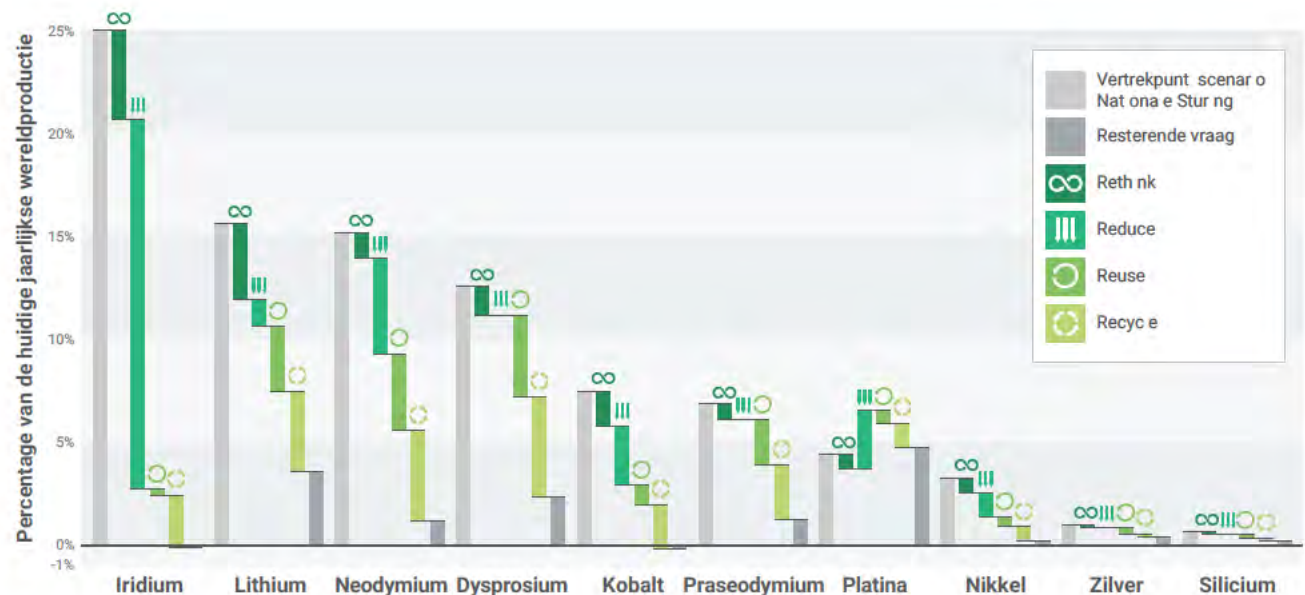


Reuse, repair & refurbish: verlengen van de levensduur van producten en onderdelen, zoals herinzet van zonnepanelen of accu's van elektrische auto's.



Recycle: terugwinnen van grondstoffen aan het einde van de levenscyclus van producten.

Nederland heeft momenteel een beperkte positie in de toevoerketen van kritieke metalen. Mijnbouw ontbreekt volledig; raffinage en productie van componenten vinden binnen Nederland nauwelijks plaats op het gebied van kritieke metalen. Wel heeft Nederland een positie in de fabricage van eindproducten, vooral op het gebied van elektrische auto's. Activiteiten op het gebied van reparatie en levensduurverlenging zijn beperkt. Nederland heeft wel een positie in (sommige onderdelen van) recycling en is sterk in logistiek. Vanwege de verwachte groei van recycling en de potentiële impact van levensduurverlenging liggen er vooral voor die posities economische kansen. Om deze kansen te realiseren moet een industrie worden opgebouwd.



Figuur 2 Reductiepotentieel van vier circulaire strategieën, op basis van het energiescenario *Nationale Sturing*.

Er zijn vier randvoorwaarden waaraan moet worden voldaan om leveringszekerheid te borgen en toekomstbestendige bedrijvigheid op te bouwen. Op ieder van deze randvoorwaarden vinden ontwikkelingen plaats, maar is aanvullende inzet nodig. Daarbij gaat het om:

- Opzetten van **permanente monitoring en continue kennisontwikkeling** om meer actuele kennis en inzichten te ontwikkelen rondom kritieke metalen en andere grondstoffen, bijvoorbeeld via een aan de overheid verbonden kennisinstituut. Daarmee kan beter worden ingespeeld op toekomstige ontwikkelingen;
- Vergroten van **ketentransparantie** van internationale toevoerketens, om beter inzicht te creëren in de

milieu- en sociale impact van kritieke metalen in de keten en daarmee te kunnen sturen op het verlagen van die impact.

- Ontwikkelen van een **lange-termijn industriebeleid** als basis voor investeringsbeslissingen. Hiermee kan het speelveld worden gecreëerd waarbinnen de industrie zich kan ontwikkelen. In het opstellen van dat beleid is intensieve samenwerking tussen de overheid en industriële spelers essentieel, net als de relatie tussen activiteiten in Nederland en elders in Europa.
- Aanscherpen van **wet- en regelgeving om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken en te stimuleren**, waaronder aanscherping van productwetgeving als Ecodesign richtlijnen en versterking van de verlengde producentenverantwoordelijkheid.

INHOUDSOPGAVE

01	Inleiding	6
02	Doelstellingen & beleid	8
03	Geopolitiek, ketencomplexiteit & impact mijnbouw	12
04	Metaalvraag Nederlandse energietransitie	18
05	Oplossingsrichtingen	26
06	Nederlandse metaalindustrie	36
07	Aanbevelingen	44
08	Bijlagen	52
	<i>I. Totstandkoming</i>	<i>52</i>
	<i>II. Eigenschappen kritieke metalen</i>	<i>53</i>
	<i>III. Toelichting energiescenario's</i>	<i>57</i>
	<i>IV. Toelichting energietechnologieën</i>	<i>62</i>
	<i>V. Bronvermelding</i>	<i>69</i>

COLOFON

AUTEURS



Metabolic
Pieter van Exter
Joris Bouwens



Copper8
Sybren Bosch
Stefan Favrin
Soemano Zeijlmans



Polaris Sustainability
Benjamin Sprecher



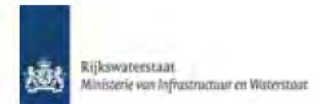
Quintel
Dorine van der Vlies
Alexander Wirtz



CML - Universiteit Leiden
Janneke van Oorschot

PARTNERS

Deze verkenning is uitgevoerd in opdracht van onderstaande partijen.



GRAFISCH ONTWERP

Metabolic
Cassie Björck
Sunniva Unneland

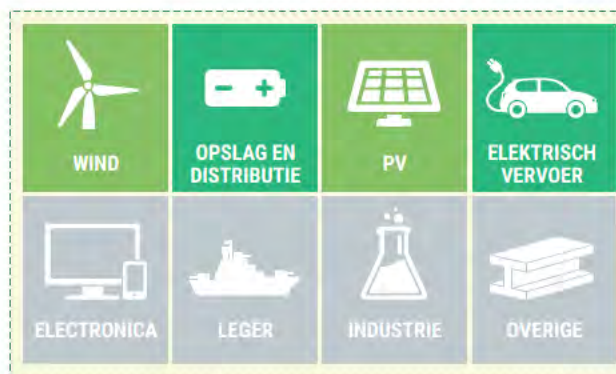
Juni 2021

01

INLEIDING

Nederland, Europa en de wereld staan voor de opgave om de CO₂-uitstoot flink terug te dringen. Om ernstige klimaatverandering te voorkomen moeten de wereldwijde emissies de komende tien jaar gehalveerd worden. Daarvoor is de grootschalige toepassing nodig van duurzame technologieën zoals zonnepanelen, windturbines, elektrische auto's, elektriciteitsopslag en waterstof. Deze technologieën vereisen kritieke metalen zoals nikkel, neodymium en platina om te kunnen functioneren. De hoeveelheid daarvoor benodigde kritieke metalen gaat een uitdaging worden.

Zonder structurele aandacht voor de benodigde materialen gaat een wereldwijde transitie naar een schoon energiesysteem niet slagen.¹ De hiervoor benodigde metalen zijn echter ook cruciaal voor onder andere militaire toepassingen, digitale infrastructuur en consumentenelektronica. Met een groeiende wereldbevolking en vooral een groeiende wereldwijde middenklasse neemt de druk op deze voorraden toe, ook zonder de transitie naar een duurzaam energiesysteem.² In de toepassing van deze metalen is er dus zowel concurrentie tussen landen als tussen toepassingen.



Figuur 3 Overzicht van verschillende toepassingen van kritieke metalen.

GROEIENDE AANDACHT VOOR KRITIEKE METALEN

De aandacht voor de uitdagingen rondom deze kritieke metalen groeit. Op Europees niveau zijn de benodigde metalen in kaart gebracht door de Europese Commissie.³ Eerdere studies voor Nederland hebben zich gericht op economische kwetsbaarheden⁴ en specifiek de metaalvraag voor zonnepanelen, windturbines^{5,6},

elektrische auto's⁷ en waterstof.⁸ Ook de gevolgen van de geopolitieke afhankelijkheid van China worden steeds breder erkend⁹, evenals een heel scala aan sociale en milieu impacts over de gehele productieketen.^{10,11}

Het voorkomen van ernstige klimaatverandering gaat alleen slagen wanneer we wereldwijd op korte termijn voldoende tempo maken met zowel reductie van de energievraag als de overstap naar klimaatneutrale energieproductie. Dat vraagt een snelle uitrol van duurzame technologieën, zowel in Nederland en daarbuiten. Om die snelle uitrol mogelijk te maken is het belangrijk om onze afhankelijkheid van kritieke metalen en de bijbehorende risico's in kaart te brengen. Vervolgens kunnen we stappen zetten om die risico's te beperken, en kansen creëren voor de Nederlandse economie.

DRIE DOELEN

De uitdaging rondom kritieke metalen is groot. De ketens zijn lang, complex en internationaal, waardoor oplossingen zowel op technologisch, politiek als maatschappelijk vlak gezocht moeten worden. Met deze studie willen we drie doelen bereiken:

- 1 Inzicht geven in de Nederlandse vraag naar kritieke metalen richting 2030 en 2040, met een doorkijk naar 2050;
- 2 Handelingsperspectief bieden hoe de kritieke metaalvraag kan worden verlaagd, inclusief de bijbehorende risico's rondom leveringszekerheid, milieu impact en geopolitieke afhankelijkheid;
- 3 Laten zien welke kansen dit biedt voor de Nederlandse industrie.

IEA: The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

De *International Energy Agency* onderschrijft sinds kort de noodzaak van kritieke metalen voor een duurzame energievoorziening.¹ Daarbij bouwt zij voort op wetenschappelijke literatuur en eerdere rapporten van onder meer de Wereldbank.²

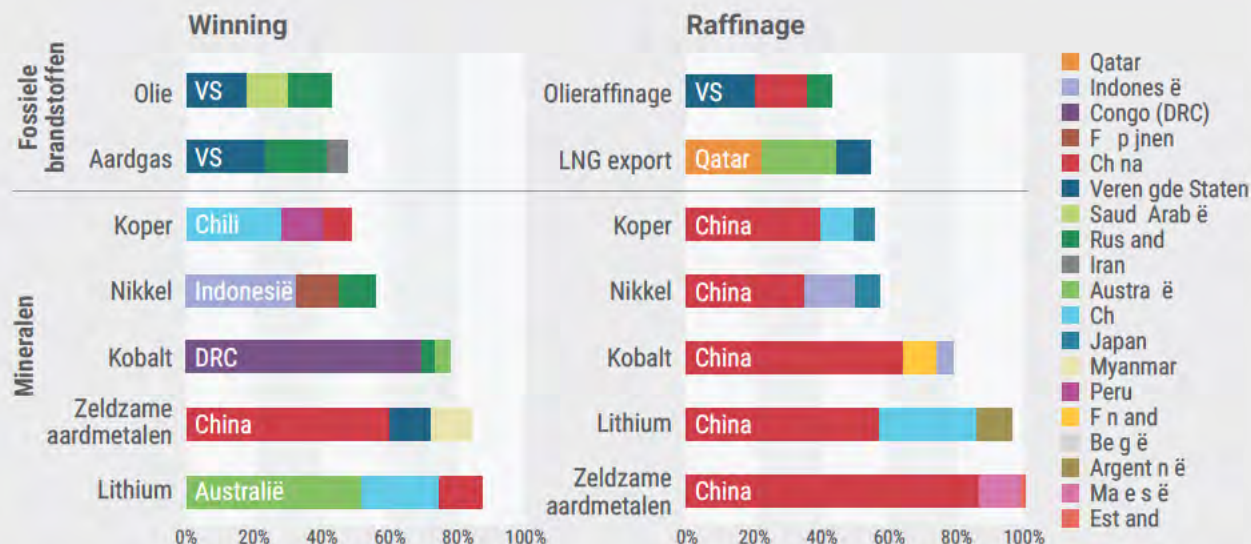
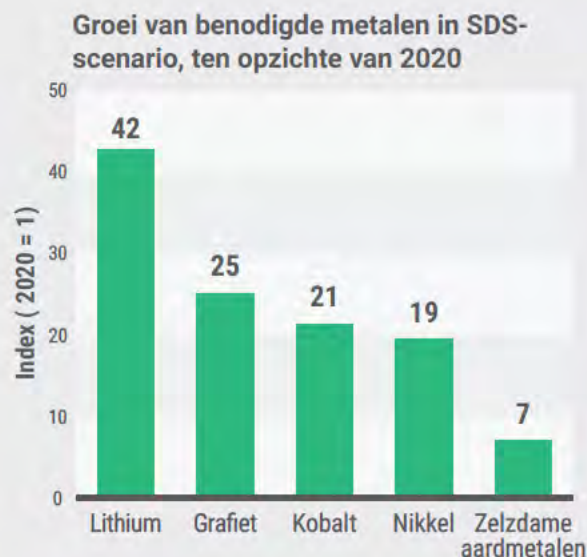
In haar rapport *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions* (mei 2021) geeft zij een globaal perspectief op drie aspecten van kritieke metalen:

- Benodigde kritieke metalen voor wereldwijde, duurzame energievoorziening
- Toevoerketen van kritieke metalen
- Duurzame mijnbouw en productie van kritieke metalen

Deze studie sluit aan bij de internationale IEA-bevindingen en creëert inzicht in de benodigde

metalen voor de Nederlandse energietransitie. Daarnaast biedt deze studie handelingsperspectief op nationaal (en Europees) niveau.

Ter illustratie zijn twee figuren toegevoegd over de benodigde productiegroei van vijf kritieke metalen in het IEA-SDS-scenario en de voornaamste productie- en raffinagelocaties van deze metalen (figuur 4).



Figuur 4 De benodigde groei in metaalproductie om klimaatdoelen te realiseren (links) en de aandelen in mijnbouw en raffinage van de grootste producenten van enkele kritieke metalen (rechts). Bron: *International Energy Agency* (2021) *The Role of Critical Metals in Clean Energy Transitions* - alle rechten voorbehouden.

02

DOELSTELLINGEN & BELEID

De richting van zowel Europees als nationaal beleid is helder: toewerken naar een klimaatneutrale en circulaire economie. De Europese Commissie heeft de doelstelling voor een 'klimaatneutraal continent' inmiddels geborgd in wetgeving en ook Nederland heeft een Klimaatwet aangenomen. Dit hoofdstuk omschrijft de doelstellingen en het beleid rondom klimaat en circulaire economie.

Nederland en Europa werken aan zowel een klimaatneutrale als een circulaire economie. Europa heeft haar klimaatdoelen recent aangescherpt tot 55% CO₂ reductie in 2030 en een 'klimaatneutraal continent' in 2050. Nederland heeft in haar Klimaatakkoord vooralsnog een CO₂ reductie van 49% (2030) en 95% (2050) afgesproken, waarbij er wordt gekeken naar aanscherping op basis van de Europese doelen.

Daarnaast werken zowel Nederland als de EU vanuit hun circulaire economie ambities aan efficiënter en slimmer grondstofgebruik: wereldwijd is zo'n 45% van de emissies het gevolg van het maken van producten en gebouwen.¹² Dit moet leiden tot een lagere afhankelijkheid van nieuwe grondstoffen veelal van buiten Europa en tegelijkertijd de milieu impact van grondstofgebruik verminderen. Daarnaast moet dit leiden tot nieuwe werkgelegenheid. Nederland heeft de ambitie om toe te werken naar een 'volledig' circulaire economie in 2050, en wil in 2030 haar primair grondstofgebruik met 50% hebben teruggebracht.¹³



HUDIG BELEID SCHIET TEKORT VOOR GESTELDE AMBITIES

Om deze klimaatneutrale energievoorziening te realiseren, zijn kritieke metalen nodig. Op dit punt is zowel klimaat als circulaire economiebeleid echter beperkt. Vooralsnog worden er vooral studies gedaan om de omvang van het probleem en de risico's en afhankelijkheden in kaart te brengen.^{3,14,9} Concrete maatregelen om te voorzien in de benodigde grondstoffen blijven echter uit.

Daarbij richten beleidsinitiatieven zich vaak op één onderdeel van de problematiek: het verduurzamen van mijnbouwactiviteiten, het anders ontwerpen van producten of het organiseren van inzameling voor hergebruik. Een structurele en samenhangende (keten) aanpak en bijbehorend grondstoffenbeleid ontbreekt op zowel nationaal als Europees niveau. Ook is er nog geen kwantitatief beeld van de verschillende industrieën en hun materiaalstromen. Als gevolg daarvan lijken de klimaatdoelstellingen niet haalbaar.

EUROPA ZET IN OP PRODUCTONTWERP & ONDERZOEK

De Europese Commissie benadrukt de noodzaak van een stabiele toegang tot kritieke metalen en verwante technologieën.³ Het recente *Circular Economy Action Plan* zet in op zo weinig mogelijk 'lekkage' van grondstoffen naar buiten de EU.¹⁵ Hierbij ligt de nadruk op kritieke metalen, zoals die in batterijen en motoren van elektrische auto's. Voor de aanpak van dit probleem richt het actieplan zich onder andere op Ecodesign richtlijnen en op het opzetten van een Europese markt voor secundaire materialen.

Om de voorzieningszekerheid van kritieke metalen te verhogen is er daarnaast een strategie op materials resilience.¹⁴ Deze strategie geeft echter nog weinig

concrete handvatten. Om een eenduidig beeld te schetsen van de kritikaliteit van metalen heeft de EU een *Critical Raw Material List*, die eens per drie jaar wordt geactualiseerd.¹⁶ Daarnaast zet de EU in op responsible sourcing binnen handelsovereenkomsten die EU breed worden onderhandeld met derde landen. Als onderdeel daarvan is vanuit de EU in 2021 de *Conflict Minerals Regulation* in werking getreden, om toe te zien op duurzame mijnbouw rondom tin, tantalum, wolfram en goud (ook wel '3TG' genoemd)¹⁴.

De inzet binnen Europa richt zich op twee pijlers:

1. **Gezamenlijk onderzoek**, waarbij de EU onderzoek en innovatie financiert, bijvoorbeeld via *Horizon Europe* en *EIT Raw Materials (European Institute of Innovation & Technology)*. Dit onderzoek richt zich echter vooral op ontwikkeling van technologieën en onvoldoende op daadwerkelijke toepassing hiervan.
2. **Gezamenlijke afspraken**, waarin bijvoorbeeld wordt gewerkt aan verdere ontwikkeling van Ecodesign richtlijnen en Europese wetgeving. Daarbij zijn er diverse platforms en samenwerkingsverbanden die input geven aan de Europese Commissie.

Om de activiteiten binnen deze pijlers mogelijk te maken, zijn er diverse Europese samenwerkingsverbanden. Enkele van deze verbanden, die zich specifiek richten op kritieke metalen, zijn samengevat in kader *Belangrijke Europese Initiatieven*. Waar binnen deze samenwerkingsverbanden Nederlandse partijen relatief goed vertegenwoordigd zijn rondom windenergie, komen de voortrekkers vanuit de batterij industrie veelal uit Frankrijk, Spanje, Duitsland en Scandinavië. Veel partijen ervaren deelname als een dilemma, omdat het wel belangrijk is voor de toekomst van de sector, maar vaak veel tijd kost.

Overzicht kritieke metalen

Om inzicht te creëren in welke metalen kritiek zijn op Europees niveau, onderhoudt de Europese Commissie een lijst met *Critical Raw Materials*.¹⁶ Op de vierde versie van de lijst, die in 2020 is gepubliceerd, staan 30 materialen, waaronder 22 (half)metalen of afgeleiden daarvan. In dit rapport hanteren we dezelfde definitie van kritiek (een metaal wat zeer belangrijk is en waar de toevoer problematisch is of kan worden), maar doordat we op een ander schaalniveau en toepassing onderzoeken dan de Europese Commissie komen we uit op een andere selectie van metalen. Figuur 5 laat zien welke metalen door de EC en in dit rapport als kritiek worden gezien.

Aangeduid als kritieke materialen (2020)

1	H	2	He
3	Li	4	Be
5	B	6	C
7	N	8	O
9	F	10	Ne
11	Na	12	Mg
13	Al	14	Si
15	P	16	S
17	Cl	18	Ar
19	K	20	Ca
21	Sc	22	Ti
23	V	24	Cr
25	Mn	26	Fe
27	Co	28	Ni
29	Cu	30	Zn
31	Ga	32	Ge
33	As	34	Se
35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr
39	Y	40	Zr
41	Nb	42	Mo
43	Tc	44	Ru
45	Rh	46	Pd
47	Ag	48	Cd
49	In	50	Sn
51	Sb	52	Te
53	I	54	Xe
55	Cs	56	Ba
57-71*	Hf	72	Ta
73	W	74	Re
75	Os	76	Ir
77	Pt	78	Au
79	Hg	80	Tl
81	Pb	82	Bi
83	Po	84	At
85	Rn	86	
87	Fr	88	Ra
89-103**	Rf	104	Db
105	Sg	106	Bh
107	Hs	108	Mt
109	Ds	110	Rg
111	Cn	112	Uut
113	Fl	114	Uup
115	Lv	116	Uus
117	Uuo	118	
71	La	72	Ce
73	Pr	74	Nd
75	Pm	76	Sm
77	Eu	78	Gd
79	Tb	80	Dy
81	Ho	82	Er
83	Tm	84	Yb
85	Lu	86	
87	Ac	88	Th
89	Pa	90	U
91	Np	92	Pu
93	Am	94	Cm
95	Bk	96	Cf
97	Es	98	Fm
99	Md	100	No
101	Lr	102	
103		104	

Bariet Bauxiet Boraat Cokes Fluoriet Grafiet Rubber Fosfaat Magnesiet

Figuur 5 Overzicht van de elementen die als kritiek zijn aangeduid door de Europese Commissie.

Belangrijke Europese initiatieven

European Raw Material Alliance (ERMA): een groep partijen die aanbevelingen formuleert voor de Europese Commissie op onder meer onderzoeks- en investeringsprojecten en het opstellen van Ecodesign-richtlijnen.

European Battery Alliance (EBA): een samenwerkingsverband tussen industriële en innovatieve partijen, dat zich inzet voor een sterke Europese batterij-industrie. De EBA doet dat onder meer door het financieren van sectorbrede initiatieven om deze industrie verder te ontwikkelen.

European Innovation Partnership (EIP) Raw Materials: een stakeholdersplatform tussen industrieën, kennisinstellingen, overheden en NGOs, dat de Europese Commissie adviseert.

European Institute of Technology (EIT) Raw Materials: een samenwerkingsverband tussen onderwijs- en onderzoeksinstituten, dat zich onder meer richt op kritieke metalen. Het EIT faciliteert onderwijs- en onderzoeksprogramma's, verzorgt het secretariaat van de ERMA en adviseert de Europese Commissie.

European Platform for Responsible Mining (EPRM): een samenwerkingsverband met als doel om het aandeel verantwoord geproduceerde materialen te verhogen en lokale initiatieven en gemeenschappen te ondersteunen bij verduurzaming van de mijnbouw.

European Energy Research Alliance (EERA) Energy Storage: een samenwerkingsverband tussen onderzoeksinstituten dat zich richt op het ontwikkelen van oplossingen voor energie-opslag.

NEDERLANDSE INZET CIRCULAIRE ECONOMIE IS INCIDENTEEL EN KLEINSCHALIG

Ook binnen Nederland zijn er diverse initiatieven om de afhankelijkheid van kritieke metalen te verlagen, en hebben zowel TNO als HCSS recentelijk met rapporten het onderwerp onder de aandacht gebracht.^{17,9} Het belangrijkste beleidskader is de *Transitieagenda Circulaire Maakindustrie*, onderdeel van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie.¹⁸ Ook is er een Nationale Batterijenstrategie gelanceerd waarin vijf belangrijke thema's rondom batterijen zijn geïdentificeerd.¹⁹ Ook is enkele jaren geleden de *Grondstoffenscanner* ontwikkeld om inzicht te creëren in de ketenrisico's en impact van grondstoffen. De onderliggende methode van deze

scanner is echter gericht op productgroepen in plaats van ketenrelaties, waarbij tevens recente innovaties niet accuraat meegenomen zijn vanwege het gebruik van oude data. Daardoor zijn de resultaten soms lastig bruikbaar.

Vanuit het Versnellingshuis Nederland Circulair wordt gewerkt aan diverse 'doorbraakprojecten' om ketensamenwerking op te zetten. Twee hiervan raken aan de behoefte naar kritieke metalen voor de energietransitie:

- **Doorbraakproject Circulaire koperketen**, met focus op het creëren nieuwe ketensamenwerkingen tussen partijen om minder primair koper te gebruiken;
- **Doorbraakproject Circulaire windmolens**, met focus op een ander ontwerp voor windturbines en het organiseren van toekomstig hergebruik.²⁰

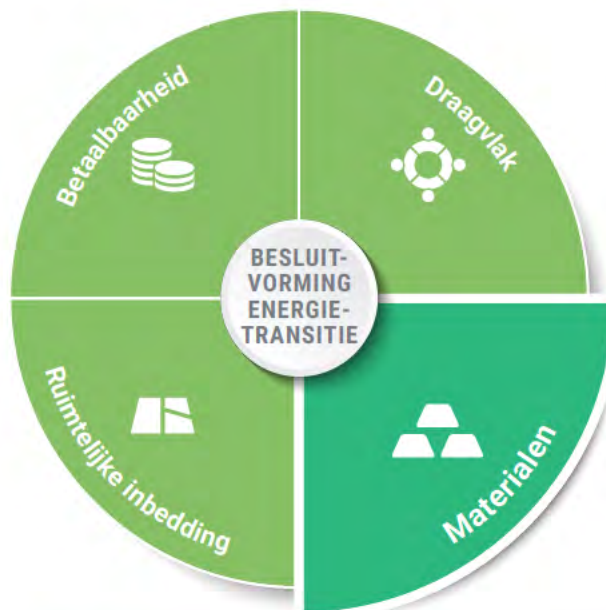
Ook zijn er verschillende regionale initiatieven, waarbij vaak echter nog niet duidelijk is wat de invloed daarvan is op internationale ketens. Zo bouwt de Provincie Zuid Holland aan een regionaal netwerk Circulaire Zonnepanelen, met als intentie om lokale ketens en initiatieven te creëren en kennis op te bouwen.^{21,22} Tot slot doen kennisinstituten als CML, HCSS, Clingendael en TNO met regelmaat onderzoeken om de laatste stand van zaken rondom kritieke metalen in kaart te brengen.

Deze initiatieven zijn voor het grootste deel echter incidenteel en kleinschalig. Langjarige inzet en financiering is vaak niet geborgd, waarmee doorlopende betrokkenheid lastig is en kennisopbouw beperkt blijft. Ook hebben de initiatieven veelal een technische focus en wordt er bijvoorbeeld nauwelijks ingezet op ander productgebruik of ander gedrag. Deze activiteiten lijken op dit moment nauwelijks een bijdrage te leveren aan het realiseren van de ambitieuze nationale beleidsdoelstellingen.

Beschikbaarheid van materialen als één van de criteria Het huidige beleid rondom de energietransitie is gebaseerd op drie criteria: betaalbaarheid, draagvlak en ruimtelijke inbedding. De sterke sturing op betaalbaarheid komt voort vanuit de wens van de Rijksoverheid om de maatschappelijke kosten te beperken. Draagvlak is cruciaal om lokale weerstand te voorkomen, bijvoorbeeld tegen windturbines ondanks dat die weerstand momenteel al aan het ontstaan is. Bij de ruimtelijke inbedding wordt vooral gekeken naar conflicten met andere functies, zoals landbouw, natuur of klimaatadaptatie.

Wanneer er uitsluitend vanuit deze criteria worden gestuurd, kan dat leiden tot bepaalde verschuivingen in technologieën. Zo is er in de Regionale Energiestrategieën een verschuiving te zien van wind op land naar zon op veld, omdat daarmee minder hinder bij omwonenden ontstaat als gevolg van landschapsvervuiling en eventuele slagschaduw of geluidsoverlast. Dit leidt echter tot een hogere vraag aan kritieke metalen.

Voor toekomstbestendige keuzes is het nodig om de beschikbaarheid van materialen als vierde criterium toe te voegen in de afweging voor de te maken keuzes. Daarmee verlagen we het risico dat er nu plannen worden gemaakt die op lange termijn niet uitvoerbaar blijken te zijn door een tekort aan kritieke metalen of een verstoring in de productieketen.



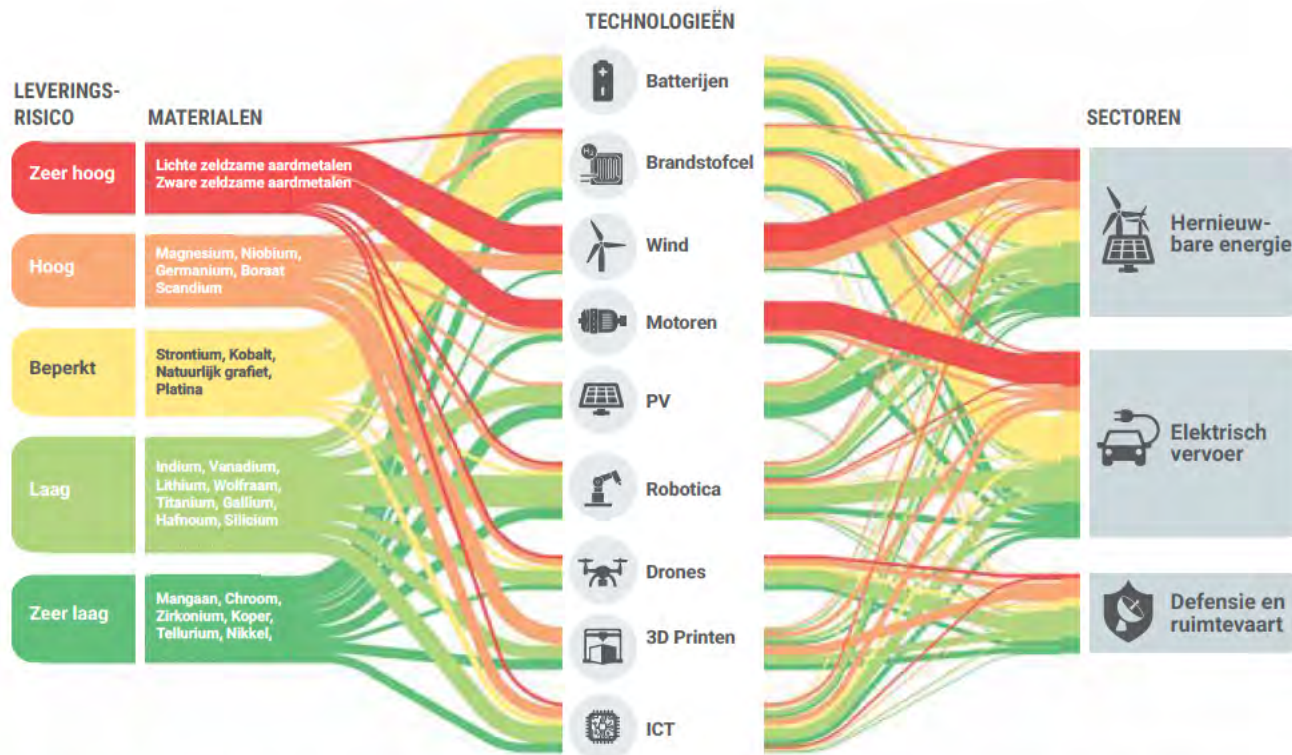
Figuur 6 Om toekomstbestendige keuzes te maken is het nodig om ook het materialen als criterium mee te nemen.



03

GEOPOLITIEK, KETEN- COMPLEXITEIT & IMPACT MIJNBOUW

Voor het realiseren van duurzame energietechnologieën zijn kritieke metalen nodig. Deze metalen zijn 'kritiek' als ze belangrijk zijn voor de economie en er relatief grote kansen zijn op verstoringen in de toelevering. Daarbij verschuift de geopolitieke afhankelijkheid van het Midden-Oosten naar het Verre Oosten, zijn de toeleverketens weinig transparant en heeft mijnbouw per definitie sociale- en milieu-impact. Dit hoofdstuk gaat in op deze aspecten en biedt daarmee de context voor het werken met kritieke metalen.



Figuur 7 Overzicht van de verschillende kritieke metalen die nodig zijn voor verschillende technologieën, op basis van de verwachte ontwikkeling van deze technologieën binnen de EU (bron: Europese Commissie).²³

Steeds meer producten in onze wereld gebruiken kritieke metalen. Denk aan mobiele telefoons en laptops, aan batterijen en elektromotoren en aan zonnepanelen en windturbines. Veel van deze kritieke hebben lange internationale ketens, die door veel verschillende landen lopen. Daarmee is het lastig om deze ketens op een eenduidige manier te beïnvloeden. Om hier wel op te kunnen sturen, is een goed begrip van de risico's en afhankelijkheden in de keten van belang.

Bij het vraagstuk rondom kritieke metalen voor de energietransitie is het dus belangrijk om te beseffen dat deze kritieke metalen ook nog nodig zijn voor andere toepassingen. Daarbij is in absolute hoeveelheden de vraag voor het duurzaam energiesysteem het grootste. Een overzicht van welke kritieke metalen nodig zijn voor welke technologieën is opgenomen in figuur 7.

DEFINITIE KRITIEKE METALEN

Materialen die nodig zijn voor een schone energievoorziening, zijn belangrijk voor onze economie. Bij een deel van de benodigde metalen is er ook een relatief grote kans op verstoringen in de toevoer, waarmee er dus een flink aantal 'kritieke metalen' zijn voor de energietransitie. Verstoringen kunnen verschillende oorzaken hebben, zowel aan de vraagkant (een sterke groei) of aan de aanbodkant (een disruptie in de keten). Er zijn in absolute zin overigens meer dan voldoende metaalertsen in de aarde aanwezig, ook van de 'kritieke' metalen. De belangrijkste vraag is in hoeverre deze voldoende op tijd, op een economisch rendabele manier

en zonder enorme milieu en sociale impact daadwerkelijk gewonnen kunnen worden. Dit is toegelicht in onderstaand kader.

GEOPOLITIEKE UITDAGINGEN: VERSCHUIVING VAN MIDDEN-OOSTEN NAAR VERRE OOSTEN

Europa is voor haar energievoorziening geopolitiek afhankelijk: tot op heden van olie en gas, en in de toekomst van kritieke metalen. Op het gebied van fossiele brandstoffen zijn onder meer de oliecrisis (1973) en meer recentelijk verstoringen in gasleveringen uit

Rusland bekende voorbeelden van geopolitiek ingegeven disrupties.

Rondom kritieke metalen is de afhankelijkheid bij het grote publiek bekend geworden door de exportstop van 'zeldzame aardmetalen' door China (eind 2010) vanwege een hoogoplopende ruzie met Japan over de Sankaku / Diaoyu eilandengroep. Omdat 97% van de totale wereldproductie op dat moment afkomstig was uit China, schoot de prijs met ruim 1000% omhoog.

CHINESE DOMINANTIE VAN TOEVOERKETENS

De Chinese dominantie van de economisch en militair belangrijke zeldzame aardmetalen is gevolg van een heldere visie en consistent Chinees industriebeleid sinds de jaren '60.²⁴ Deze strategische inzet op kritieke metalen vanuit China zal voorlopig blijven. Het huidige (13e) 5 jaar plan en de Nationale Industriestrategie *Made in China 2025* richten zich op het verder verlagen van de Chinese economische afhankelijkheid van derde landen.²⁵ De afgelopen jaren heeft China dan ook dominante posities ingenomen in de toevokerketens van bijna alle kritieke metalen, zowel in mijnbouw als in raffinagecapaciteit van metalen die elders worden gewonnen.⁹

Vanuit het *one belt, one road* initiatief ('Nieuwe Zijderoute') investeert China in logistieke infrastructuur (havens, wegen, spoor). Zo creëert het land naast haar eigen winning en raffinagecapaciteit invloed op de stroom van producten – waaronder erts en metalen – die niet direct eigendom van Chinese bedrijven zijn.

¹ Ter verduidelijking: 'zeldzame aardmetalen' (Engels: rare earth elements) is een verzamelnaam voor diverse metalen, waaronder neodymium, dysprosium en praseodymium. Deze zijn, in tegenstelling tot wat de naam zegt, niet zeldzaam.

De voorradigheid van metaalertsen



Een veelgestelde vraag over kritieke metalen is of er voldoende voorraad beschikbaar is. Over het algemeen zijn de wereldwijde ertsvoorraden meer dan voldoende om te voldoen aan de verwachte vraag. De daadwerkelijke productiecapaciteit en de opschaling hiervan kent echter een aantal grenzen:

- **Technische grenzen:** wat kan er gewonnen worden met de huidige techniek?
- **Economische grenzen:** wat is winstgevend om te winnen?
- **Maatschappelijke grenzen:** wat is de sociale- en milieu-impact?

Zowel opschaling van bestaande productielocaties en openen van nieuwe mijnen zijn tijdrovende en kapitaal-intensieve processen. Als gevolg van onder meer exploratie, vergunningaanvragen en de aanleg van infrastructuur kan het openen van een nieuwe mijn en bijbehorende raffinagecapaciteit zo'n 10-20 jaar duren. Alleen al daardoor is het produceren van voldoende metalen voor de technologieën die tot 2030 nodig zijn, uitdagend.

Voor China is het investeren in ketens van kritieke metalen een manier om ook in de toekomst controle over deze ketens te blijven behouden. Daarbij gaat het niet alleen over winning en metaalproductie, maar ook over de productie van onderdelen en producten waar deze kritieke metalen in verwerkt zitten. Mede als gevolg van de groeiende afhankelijkheid en toenemende handelsconflicten met China heeft de VS in september 2020 een presidentiële noodtoestand afgekondigd rondom kritieke metalen²⁶ en recent een taskforce aangekondigd om de toevoerketens van kritieke metalen te versterken.²⁷

Enkele landen hebben een expliciete strategie opgebouwd om te kunnen omgaan met deze afhankelijkheid. Europa en Nederland onderkennen het belang van samenwerking²⁸, maar hebben vooralsnog nauwelijks een inhoudelijke strategie. Dit lijkt vooral te komen door een onvoldoende gevoel van urgentie. In onder meer Japan en de VS wordt deze urgentie wel gevoeld. Een aantal initiatieven van deze landen is samengevat in het tekstkader.

Voorbeeld: initiatieven vanuit Japan en VS

Japan is zich al ruim voor de Tweede Wereldoorlog bewust van de afhankelijkheid van derden voor grondstoffen. In 1963 werd de *Metallic Minerals Exploration Financing Agency of Japan* opgericht, met als taak om het Japanse bedrijfsleven te steunen bij toegang tot grondstoffen. In 2004 werd dit omgevormd tot de *Japan Oil, Gas and Metals National Corporation*. JOGMEC onderhoudt expertise op het gebied van grondstoffen, coördineert samenwerking tussen overheid en bedrijfsleven en investeert in het verlagen van risico's voor het bedrijfsleven. Zij heeft daar ook de financiële middelen voor. Daarnaast heeft Japan sinds 1983 een nationaal voorraadprogramma met als doel om 60 dagen voorraad te houden voor de Japanse economie. Daarvan houdt de overheid 48 dagen en wordt van het bedrijfsleven verwacht altijd minimaal 18 dagen voorraad aan te houden.

De Verenigde Staten is zich ook al decennia bewust van de afhankelijkheden van kritieke metalen. Sinds 1947 beheert de *Defense Logistics Agency* daarom een nationale strategische voorraad van grondstoffen die kritiek worden geacht, ter waarde van ongeveer \$1,5 miljard.²⁹ Ook dit jaar besteedt het Amerikaanse leger een aanzienlijk bedrag aan het op peil houden van deze voorraad. Zo wil de Defense Logistics Agency in 2021 onder meer 600 Mton Neodymium en ongeveer 15 kton tantalum aanschaffen. In 2013 is het *Critical Materials Institute* opgericht om technische innovaties te helpen ontwikkelen van laboratorium naar pilot. Dit samenwerkingsverband van onderzoeksinstellingen heeft momenteel een direct budget van zo'n \$24 miljoen, naast alle onderzoeken die in de reguliere financieringsstromen en via militair onderzoeksbudget worden betaald.

DLA STRATEGIC MATERIALS ANNOUNCEMENT		
October , 2020		DLA-SM-21-3183
ANNUAL MATERIALS PLAN FOR FY 2021		
The Defense Logistics Agency Strategic Materials Agency announced the Fiscal Year 2021 Annual Materials Plan (AMP) for potential acquisitions. The FY 2021 AMP is effective October 1, 2020 and will expire September 30, 2021.		
Annual Materials Plan FY 2021 (Potential Acquisitions)		
Material	Unit	Ceiling Quantity
Antimony	MT	1,100
Boron Carbide	MT	1,000
Carbon Fibers	MT	72
Carbon Fibers	LBS	5,000
Cerium	MT	500
Dysprosium	MT	20
Electrolytic Manganese Metal	MT	5,000
Lanthanum	MT	1,300
Neodymium	MT	600
Praseodymium	MT	70
Rare Earth Magnet Block	MT	100
Rayon	MT	600
RDX/HMX/IMX/TNT	LBS	7,000,000
Samarium Cobalt Alloy	MT	50
Silicon Carbide Fibers	LBS	875
Tantalum	LBS Ta	33,990
Tungsten Rhenium Metal	KG	5,000
Yttrium	MT	600

Materials listed are Potential Acquisitions and quantities listed are ceilings.
www.dla.mil/ha/acquisition/strategicmaterials

Figuur 8 Overzicht van potentiële aankopen van strategische materiaalvoorraden door het Amerikaanse leger.

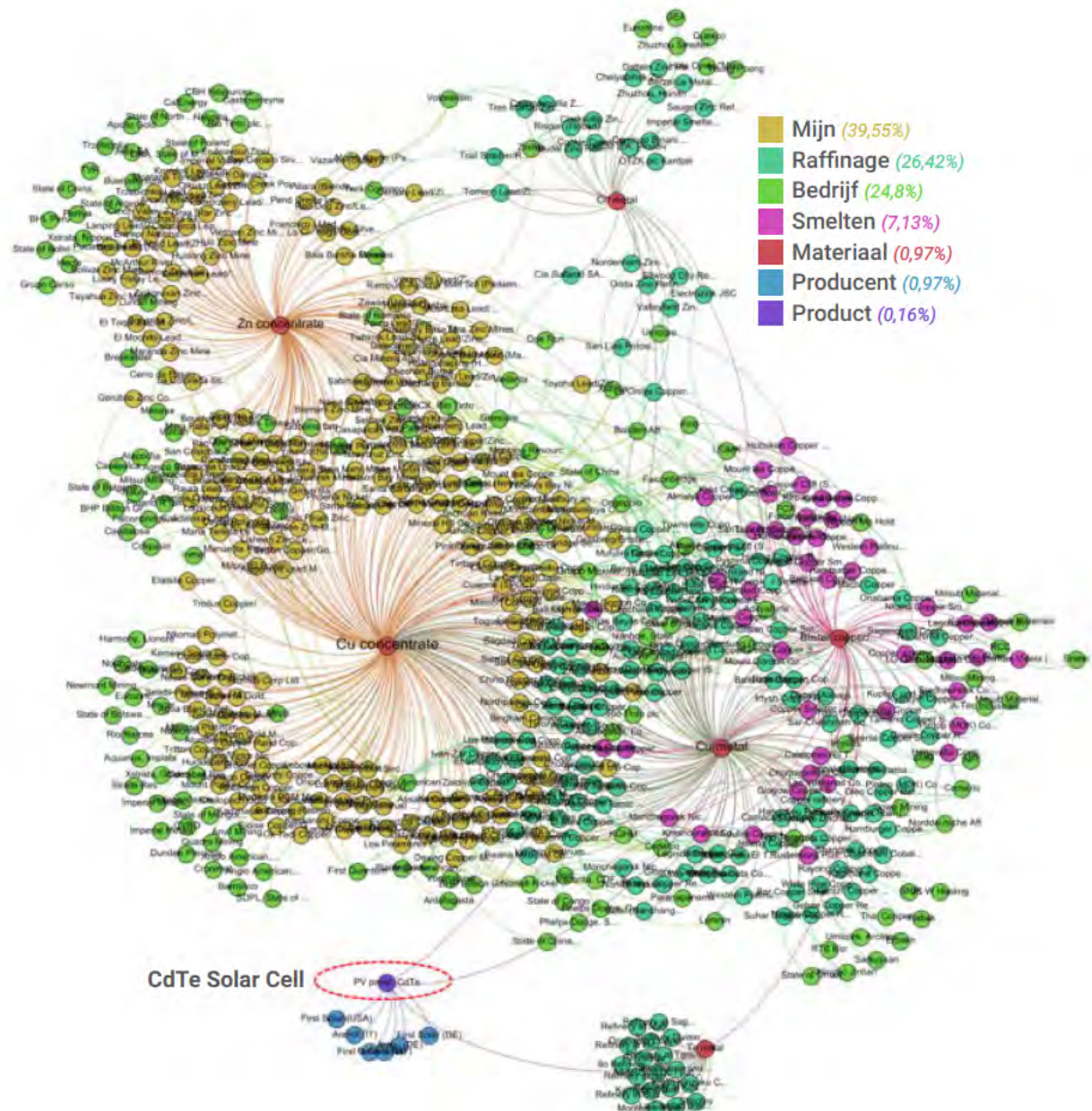
KETENS ZIJN WEINIG TRANSPARANT

Naast geopolitieke risico's zijn er ook risico's die ontstaan als gevolg van lange, complexe en vaak weinig transparante toeleverketens. Daarbij kent iedere stap van de keten zijn eigen complexiteit. Zo komt dit in de mijnbouw door de sterke samenhang tussen de mijnbouw van verschillende metalen de winning van companions is afhankelijk van de winning van majors (zie tekstkader). Raffinage is een complex industrieel proces waar veel metallurgische kennis voor nodig is. Deze kennis is in Nederland bijna helemaal verdwenen. Bij de productie van onderdelen komt dit onder meer door de vele verschillende materialen vaak uit verschillende landen die hiervoor nodig zijn. Voor half- of eindproducten zijn dan weer veel verschillende onderdelen nodig. Ter illustratie laat figuur 9 de complexiteit van een deel van de keten van een zonnepaneel zien.

Een goed functionerende mondiale logistiek is cruciaal voor deze complexe ketens. Risico's op verstoringen in de keten zijn recent duidelijk geworden door zowel productiebeperkingen als gevolg van de COVID pandemie als de korte blokkade van het Suez kanaal.

Ketens zijn zo lang en complex dat het vrijwel onmogelijk is om alle risico's in kaart te brengen. Als gevolg daarvan worden ketenrisico's systematisch onderschat. Er is veel onderzoek naar *supply chain resilience*, maar als gevolg van de druk op efficiëntie en *just in time* management wordt er weinig geïnvesteerd in het aanhouden van voorraden en daarmee verhogen van de veerkracht van deze ketens. Hierdoor kunnen afnemers in Nederland nauwelijks kunnen anticiperen op verstoringen.

Figuur 9 Het netwerk van bedrijven wat betrokken is bij de productie van een Cadmium-Tellurium zonnepaneel, zo ver de onderzoekers in staat zijn geweest dit in kaart te brengen. Deze visuele weergave illustreert de complexiteit van een toeleverketen (bron: Nuss et al.)³⁰

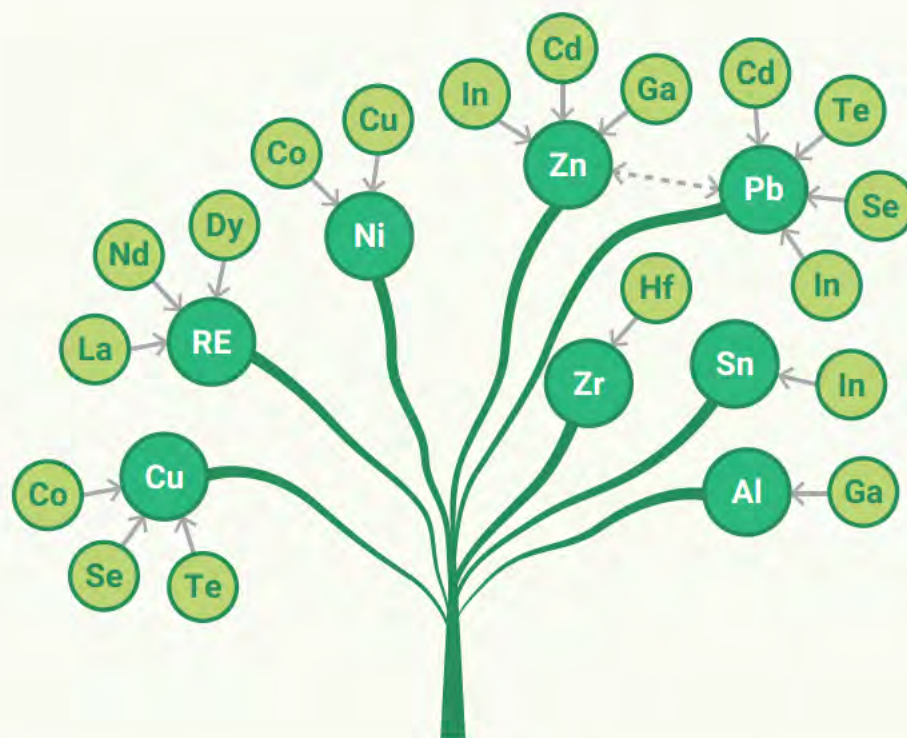


Mijnbouwproductie: *majors* en *companions*

De productie van de meeste kritieke metalen is extra onvoorspelbaar, omdat ze een nevenproduct (*companion metal*) zijn bij de winning van andere metalen zoals koper, ijzer en zink (*major metals*). Ter illustratie: meer dan 90% van de wereldwijde kobaltproductie is een bijproduct, met als voorbeeld de Katanga-mijn (Congo) die één ton kobalt produceert per 55 ton koper.

Als de vraag naar een *companion metal* stijgt, kan de productie in eerste instantie vaak relatief eenvoudig worden verhoogd. Echter, als de reserve productiecapaciteit volledig benut is moet de prijs plots extreem stijgen voordat het rendabel is om de productie van de totale mijn te verhogen om de vraag naar het *companion metal* te voldoen. Omdat er nauwelijks informatie beschikbaar is over onbenutte productiecapaciteit is het voorspellen van prijzen van companion metals erg moeilijk.

Niet alle kritieke metalen in dit rapport zijn *companion metals*: zo worden lithium en nikkel zelfstandig gewonnen. Zeldzame aardmetalen (REE's - *rare earth elements*) en kobalt zijn vaak een bijproduct, maar niet altijd. Ter illustratie: de Chinese Bayan Obo mijn, die het grootste deel van de wereldproductie van zeldzame aardmetalen voor haar rekening neemt, was oorspronkelijk een ijzermijn die toevallig ook REE's produceerde. Door de combinatie van de sterk stijgende prijs van REE's en de dalende concentratie ijzer in het erts, veranderde Bayan Obo in een mijn die vooral winst uit de productie van REE's haalt, met ijzer als bijproduct.



Figuur 10 Relatie tussen major metals en companion metals bij de winning van ertsen (bron: Graedel et al.).³¹

MIJNBOW HEEFT MILIEU- EN SOCIALE IMPACT

Mijnbouw heeft per definitie negatieve impact op de omgeving van een mijn, zoals ontbossing of vervuiling. Impact vindt zowel plaats tijdens het gebruik van een mijn als na beëindiging van de productie, wanneer een mijnbouwlocatie niet netjes wordt achtergelaten. Ondanks afspraken ontduiken mijnbouwbedrijven deze verplichtingen regelmatig, bijvoorbeeld door de mijn een aantal jaar voor uitputting te verkopen aan een klein bedrijf, dat vervolgens failliet gaat voordat het aan de verplichtingen kan voldoen. Risico's voor schade aan de natuurlijke omgeving leiden er soms ook toe dat mijnen niet worden geopend, zoals het recentelijke besluit om in Groenland geen nieuwe mijn te openen.

Dilemma's op maatschappelijk en sociaal vlak

Ook op maatschappelijk en sociaal vlak leidt mijnbouw regelmatig tot dilemma's en conflicten. Denk bijvoorbeeld aan het vele watergebruik bij nikkelproductie in gebieden in Australië waar reeds grote watertekorten zijn of de schade aan natuurlijke landschappen bij lithiumproductie uit zoutmeren in Zuid Amerika. Ook vindt bij mijnbouw sporadisch kinder- en dwangarbeid plaats, zoals bij kobaltmijnbouw in Congo of winning van zeldzame aardmetalen in het binnenland van China.

Anderzijds kan een mijn ook een positieve bijdrage leveren. Vaak is een mijnbouwbedrijf lokaal de grootste werkgever, en soms beter georganiseerd dan de lokale overheid. Dat maakt dat deze bedrijven een cruciale rol kunnen spelen in noodomstandigheden. Zo kwamen mijnbouwbedrijven in Guinea, Liberia en Sierra Leone tijdens de ebola uitbraak van 2014/2015 snel in actie om medewerkers en nabije gemeenschappen te helpen met gezondheidszorg en veiligheidstraining. Daarmee konden de mijnen open blijven.

De negatieve effecten van mijnbouw van kritieke metalen vallen in het niet bij de schade die de winning en verbranding van fossiele brandstoffen met zich meebrengt.³² Toch zijn de milieu- en sociale impact van mijnbouw een risico voor de energietransitie, omdat negatieve berichtgeving maatschappelijk draagvlak kan verkleinen.

Dit wordt geïllustreerd door de vele verontwaardigde en kritische reacties op recente artikelen in onder meer Trouw (kinderarbeid in Congo)³³, het Financieel Dagblad (Oeigoerse dwangarbeid in China)³⁴ en de Volkskrant (milieu impact van mijnbouw in Groenland)³⁵. Daarbij speelt ook een moreel vraagstuk: in hoeverre mag een duurzame energievoorziening ten koste gaan van mensen en milieu? Aandacht voor verantwoorde mijnbouw en productieketens wereldwijd is daarom cruciaal.

In Bijlage II is een overzicht opgenomen van enkele belangrijke metalen voor de energietransitie, hun belangrijkste eigenschappen en de impact in de keten.

AANDACHT VOOR DUURZAME MIJNBOW IS BEPERKT, MAAR GROEIT

Wereldwijd wordt nog steeds nauwelijks aandacht besteed aan meer duurzame mijnbouw. Ondanks dat veel mijnbouwbedrijven aangeven dat de meerkosten relatief beperkt zijn, is werken aan duurzaamheid lastig als gevolg van concurrentie, corruptie en druk van aandeelhouders op korte termijnrendement. Vaak concurreren Westerse mijnbouwbedrijven met partijen die niet naar sociale omstandigheden kijken, met als gevolg dat nadruk op duurzame mijnbouw en het uitsluiten van corruptie kan leiden tot verlies van een concessie.

Om bij te dragen aan het verlagen van de impact van mijnbouw, heeft de Wereldbank mede met Nederlandse financiering het *Climate Smart Mining* programma opgezet. Daarnaast wordt Europees het CERA project ontwikkeld, een universeel certificeringsschema speciaal ontwikkeld voor metalen³⁶, met als doel standaardisering aan te brengen in de 32 certificeringsschema's die al voor metalen in omloop zijn. Dit soort vrijblijvende initiatieven zijn echter niet voldoende om de negatieve impact terug te dringen.



04

METAALVRAAG NEDERLANDSE ENERGIE- TRANSITIE

Voor het toekomstige, duurzame energiesysteem zijn grote hoeveelheden duurzame opwek-, opslag- en transportcapaciteit nodig. Voor de productie daarvan zijn kritieke metalen nodig. In dit hoofdstuk is met behulp van scenario's gemodelleerd hoe groot de metaalvraag van de Nederlandse energietransitie is. Daaruit volgt dat de toekomstige vraag naar sommige metalen voor Nederland groeit naar 10% tot 25% van de huidige wereldwijde productie.

VIER SCENARIO'S VOOR EEN KLIMAATNEUTRAAL ENERGIESYSTEEM

Een energiesysteem in lijn met het Klimaatakkoord van Parijs vraagt grote aanpassing van het huidige energiesysteem. Er zijn verschillende routes mogelijk om Nederland in 2050 klimaatneutraal van energie te voorzien. Daarbij zijn er verschillende afwegingen te maken: zelfvoorzienend zijn of energie importeren? Centrale of decentrale elektriciteitsproductie? Elektrificatie of duurzame brandstoffen?

Om de consequenties van deze keuzes inzichtelijk te maken, zijn en worden er scenario studies gedaan. Dit gebeurt zowel op nationaal als op regionaal niveau. Deze studie gaat uit van de scenario's die Netbeheer Nederland heeft opgesteld (april 2021).³⁷ De belangrijkste kenmerken van deze scenario's zijn per scenario samengevat in tabel 1. Deze vier scenario's zijn het uitgangspunt voor het berekenen van de metaalvraag van de Nederlandse energietransitie.

Tabel 1: Kenmerken van de vier klimaatneutrale energiescenario's (bron: Netbeheer Nederland)³⁵

SCENARIO	ENERGIE- GEBRUIK ¹⁾	HERNIEUW- BAARHEID	ZELFVOOR- ZIENING	INDUSTRIE	OPWEK	FLEXIBILITEIT
Regionale sturing	Reductie: 40%	95%	73%	Krimp: 1% per jaar (naar 73% huidige omvang)	 125 GWh  20 GWh  31 GWh	 400 GWh  42 GW
Nationale sturing	Reductie: 25%	95%	71%	Stabiel (gelijk aan huidige omvang)	 107 GWh  20 GWh  52 GWh	 400 GWh  51 GW
Europese CO ₂ -sturing	Reductie: 0%	69%	33%	Groei: 1% per jaar (naar 136% huidige omvang)	 59 GWh  10 GWh  30 GWh	 200 GWh  19 GW
Internationale sturing	Groei: 2%	59%	32%	Groei: 1% per jaar (naar 136% huidige omvang)	 58 GWh  10 GWh  28 GWh	 200 GWh  16 GW

 Zon-PV
  Wind op land
  Wind op zee
  Batterijen
  Elektrolyzers

¹⁾ Ten opzichte van 2015, en inclusief het gebruik van energie als industriële grondstof.

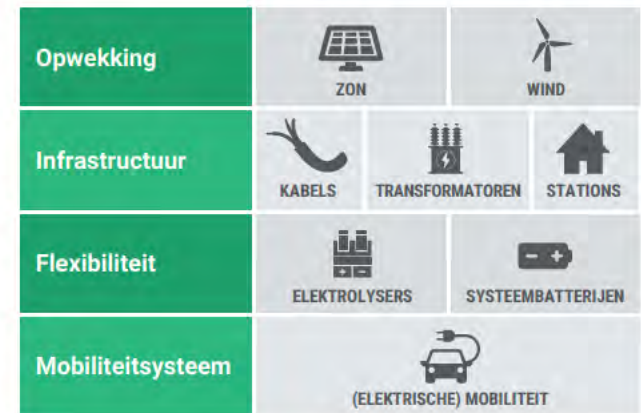
De vier scenario's zijn 'realistische extremen', die ontwikkelingsrichtingen voor het energiesysteem laten zien. Het doel van de scenario's is om inzicht te geven in de bandbreedte van de behoeften aan flexibiliteitsmiddelen (energie opslag, afstemming vraag aanbod) en infrastructuur. Ze variëren van focus op zelfvoorziening tot een meer import georiënteerd perspectief. Ze variëren tevens van aanzienlijke krimp tot aanzienlijke groei van de energie intensieve industrie. Daarnaast variëren binnen de scenario's de technologieën, energiebronnen en dragers.

Een meer uitgebreide omschrijving van deze scenario's is opgenomen in Bijlage III.

Afbakening van het systeem

Deze studie richt zich op de elementen van het energiesysteem die kritieke metalen (kunnen) bevatten. Dat zijn vooral technologieën voor de opwekking, het transport en de opslag van elektriciteit. Ook de metaalvraag van elektrische auto's is meegenomen. Omdat voor de productie, het transport en de opslag van warmte en gas nauwelijks kritieke metalen nodig zijn, zijn deze buiten beschouwing gelaten.

Ook zijn materiaalverliezen in de productieketen niet meegenomen, vooral omdat deze lastig te kwantificeren zijn. De totale metaalvraag kan als gevolg daarvan nog hoger uitvallen.

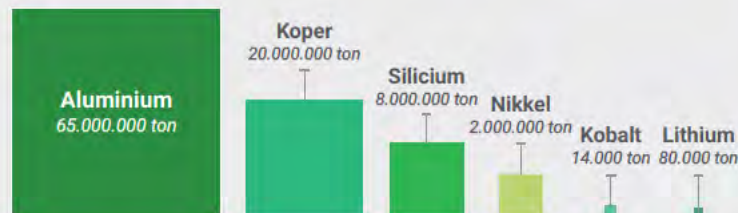


Absolute versus relatieve vraag



De absolute vraag naar metalen (kritiek of niet kritiek) geeft een beeld van hoeveel van deze metalen nodig is. Omdat het productievolume van deze metalen echter enorm verschilt, zegt dit niet heel veel. Ter illustratie: wereldwijd in 2020 is er circa 1.800.000.000 ton ijzer geproduceerd tegenover slechts 120 ton platina.

Om een beter beeld te krijgen hoe significant de vraag naar verschillende metalen kritiek is, wordt de jaarlijks benodigde hoeveelheid metalen voor Nederland uitgezet als percentage van de wereldwijde jaarproductie. Omdat de toekomstige mijnbouwproductie moeilijk te voorspellen is, gaan deze berekeningen uit van de productie van 2020 als referentiegetal.



Bij het bepalen van deze relatieve vraag is het belangrijk om Nederland in perspectief van de wereld te plaatsen:

Het BNP van Nederland is zo'n 1,0% van het globale BNP



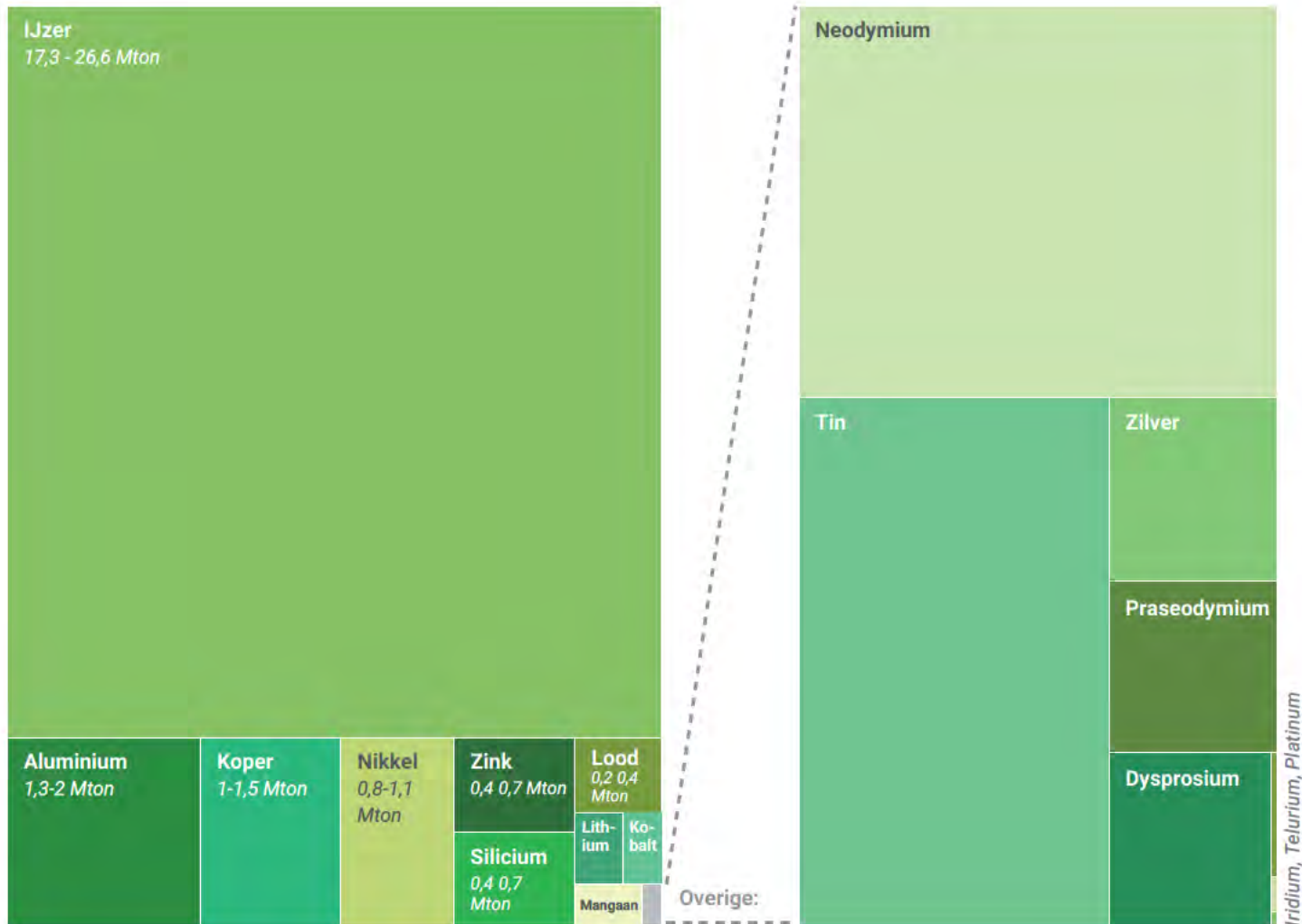
Het Nederlandse finaal energieverbruik is zo'n 0,5% van het wereldwijde energieverbruik



Het Nederlandse inwoneraantal is zo'n 0,2% van de wereldwijde populatie



Figuur 11 Wereldwijde productie (2020) van een aantal belangrijke metalen voor het energiesysteem (bron: USGS).⁵⁴



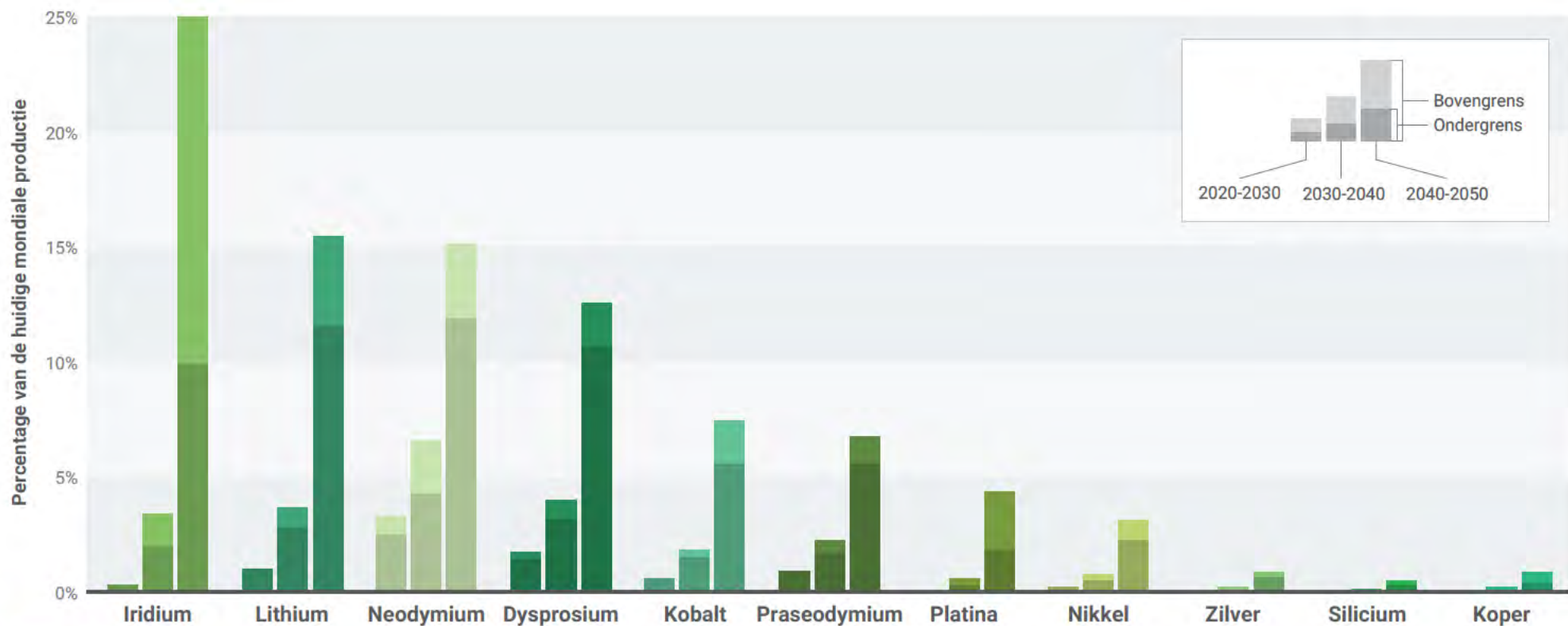
METAALVRAAG NEDERLANDS ENERGIESYSTEEM

Absolute vraag naar metalen bedraagt miljoenen tonnen

Voor de Nederlandse energietransitie zijn, afhankelijk van het energiescenario, voor de periode 2020-2050 22 tot 33 miljoen ton metalen nodig. 94% van de totale hoeveelheid komt voor rekening van ijzer (verwerkt tot staal), aluminium, koper en nikkel.

De meeste metalen zijn nodig voor het produceren van zonnepanelen en windturbines. Ter illustratie: de nieuwe Haliade windturbines van General Electric, die in Rotterdam zijn geplaatst, hebben per turbine een vermogen van 12 MW en een gewicht van meer dan 1.500 ton. In de scenario's staat er in 2050 tussen de 38 en 72 GW (38.000 - 72.000 MW) aan windturbinecapaciteit. Omdat in de scenario's *Regionale sturing* en *Nationale sturing* er meer zonnepanelen en windmolens staan opgesteld in 2050, is de metaalvraag in die scenario's ook beduidend hoger.

Figuur 12 Hoeveelheid benodigde metalen tussen 2020 en 2050 (in Mton) om het duurzaam energiesysteem op te bouwen, op basis van een gemiddelde van de vier scenario's.



Figuur 13 Verwachte jaarlijkse vraag naar een aantal kritieke metalen als percentage van de huidige wereldproductie, voor de periodes 2020-2030, 2030-2040 en 2040-2050.

Relatieve vraag overstijgt het aanbod met factoren in komende dertig jaar

Wanneer we de Nederlandse vraag naar kritieke metalen voor de energietransitie vergelijken met de huidige wereldwijde productie, blijkt deze veel hoger dan op basis van de omvang van Nederland realistisch is. De vraag naar iridium, lithium, kobalt, platina, nikkel en zeldzame aardmetalen is het grootst, ten opzichte van de huidige productie. De metaalvraag van de Nederlandse energietransitie voor de periode 2020-2050 is in figuur 13 gevisualiseerd.

De vraag naar de meeste metalen neemt gestaag toe tussen 2020 en 2050. Dat komt omdat de grootste groei van opgestelde vermogens in de scenario's verwacht wordt tussen 2030 en 2050. Voor iridium, lithium, neodymium en dysprosium stijgt de gemiddelde verwachte vraag zelfs in het laagste scenario tot boven de 10% van de huidige mondiale productie. Het verschil tussen de vraag vanuit de transitie naar een duurzaam energiesysteem en het aanbod (vanuit mijnbouwproductie) ligt daarmee niet in de orde van grootte van procenten, maar van factoren.

- Voor iridium stijgt de jaarlijkse Nederlandse vraag in de toekomst tot 10-25% van de huidige productie wanneer er naast alkaline elektrolyzers ook gebruik wordt gemaakt van PEM techniek, waar platina in verwerkt zit. TNO heeft onlangs berekend dat in 2050 de totale Nederlandse iridiumvraag voor elektrolyzers 122% van de huidige mondiale productie bedraagt.⁸
- De jaarlijkse vraag naar lithium stijgt tot 12-15% per jaar als gevolg van het gebruik van systeembatterijen om het elektriciteitsnet te bufferen en van overstap op elektrisch vervoer.

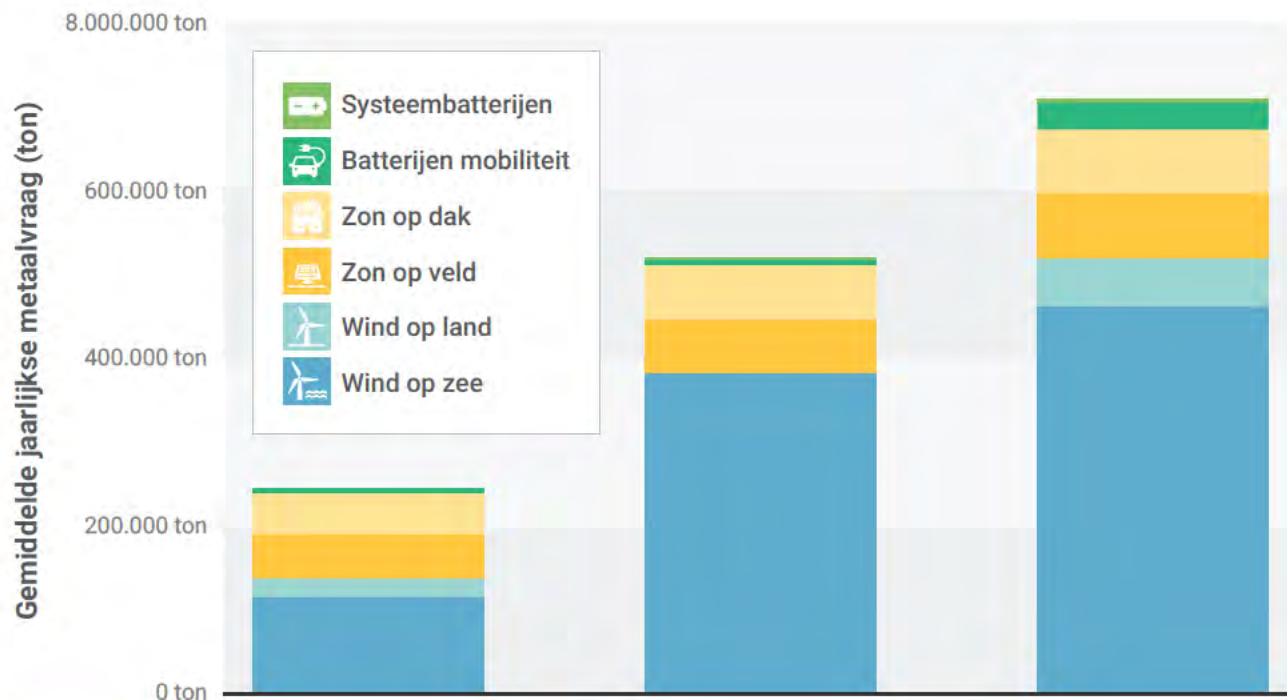
- De vraag naar zeldzame aardmetalen stijgt: neodymium naar 12-15% en dysprosium naar 10-12% van de huidige wereldwijde jaarproductie voor de periode 2040-2050. Deze metalen worden toegepast in permanente magneten in onder meer windturbines en elektrische auto's.

Grote verschillen tussen scenario's door mate van zelfvoorzienendheid en aandeel hernieuwbare energie

Daarbij verschilt de metaalvraag sterk per scenario. In het *Nationale sturing* scenario is de metaalvraag in Nederland het hoogste, in het *Internationale sturing* scenario zijn de kleinste hoeveelheden kritieke metalen nodig. De lagere primaire energievraag in de scenario's *Nationale sturing* en *Regionale sturing* wordt teniet gedaan door het feit dat Nederland ook in grotere mate zelfvoorzienend is, waarmee het percentage hernieuwbare energie veel hoger ligt dan in de scenario's Europese sturing en Internationale sturing. In het scenario *Internationale sturing* wordt er een aanzienlijke hoeveelheid waterstof geïmporteerd (235-291 TWh in 2050), die elders geproduceerd zal moeten worden met elektrolyzers en via (duurzame) elektriciteit. Daarmee is er dus sprake van een hogere metaalvraag elders voor de productie van de Nederlandse energievraag.

METAALVRAAG REGIONAAL ENERGIESYSTEEM: CASUS ZUID-HOLLAND

De metaalvraag speelt niet alleen nationaal, maar ook regionaal. Uit een analyse voor Zuid-Holland blijkt dat een aanzienlijk deel van de Nederlandse metaalvraag nodig gaat zijn voor de energietransitie in die provincie. Dit is het gevolg van de hoge energievraag, die zowel wordt veroorzaakt door de vele industrie als de hoge bevolkingsdichtheid.



Figuur 14 Gemiddelde jaarlijkse metaalvraag (in ton, incl. niet-kritieke metalen) tussen 2020 en 2050 voor het Zuid-Hollandse energiesysteem, op basis van het scenario Nationale sturing. De grootste hoeveelheid metaal is nodig voor wind op zee.

In 2050 zal naar verwachting 45-49% van de geplande offshore wind en 18-22% van de voorziene zonnepanelen op daken in Zuid-Holland zijn geïnstalleerd. Omdat juist deze technologieën een grote hoeveelheid metalen per MW bevatten, is de totale hoeveelheid benodigde metalen voor de binnen Zuid-Holland geïnstalleerde opwek, transport en opslagcapaciteit aanzienlijk. Afhankelijk van het gekozen energiescenario ligt de totale metaalvraag voor de periode 2020-2050 tussen de 4,2 en 7,2 miljoen ton. Ook staat er in de scenario's relatief veel waterstof elektrolyzers in de provincie opgesteld, waardoor er

veel iridium nodig zal zijn bij de toepassing van PEM technologie.

Wel is het opgestelde vermogen aan systeembatterijen in de provincie relatief beperkt ten opzichte van de rest van Nederland. Daardoor zal er ook minder lithium en kobalt nodig zijn voor het energiesysteem in Zuid-Holland. Tegelijkertijd is voor het goed functioneren van het energiesysteem een sterke interconnectiviteit met omliggende provincies en regio's van belang.

GROEIENDE RISICO'S RONDOM BESCHIKBAARHEID

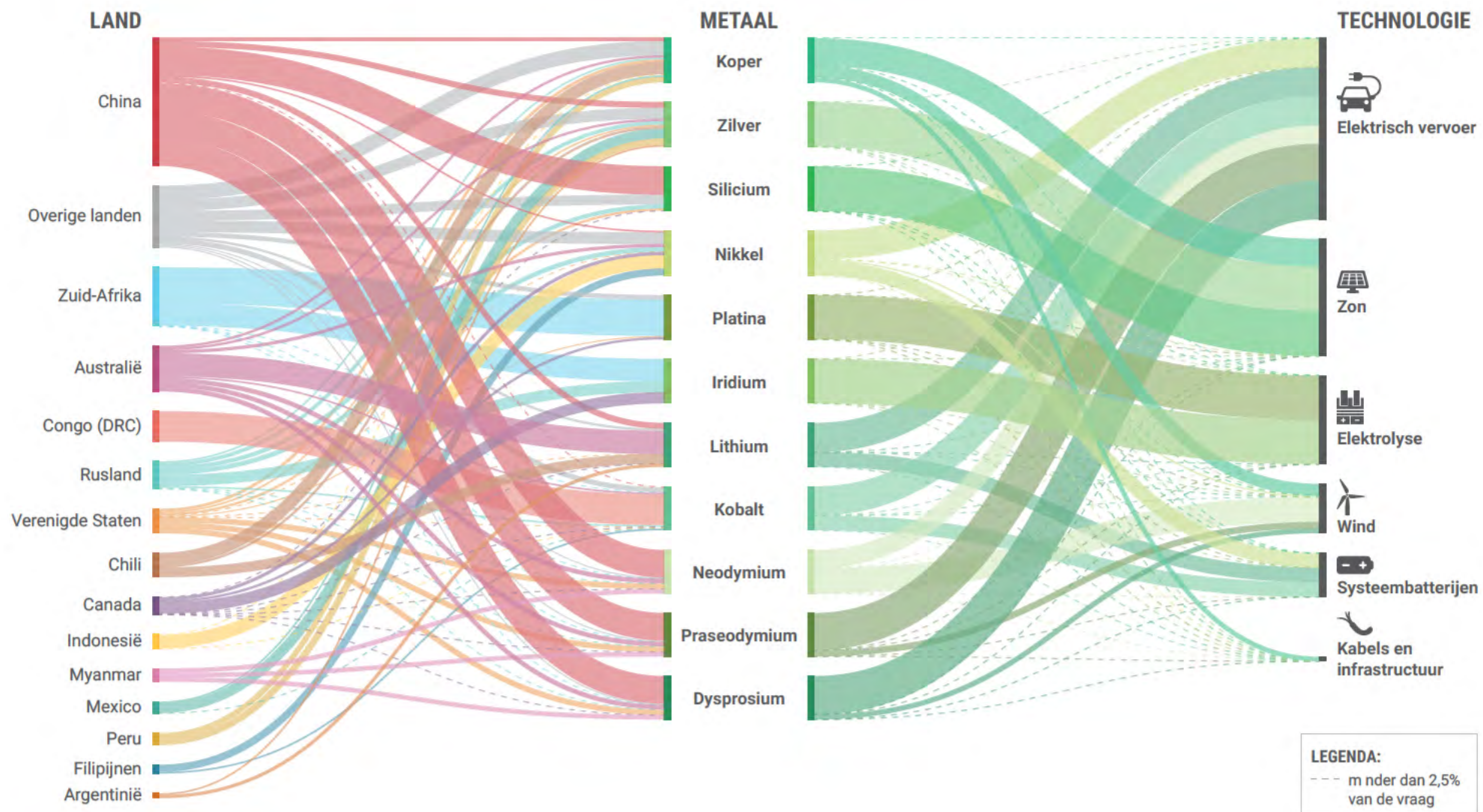
Hoewel de relatieve vraag in de scenario's pas sterk groeit tussen 2030 en 2040, ontstaan er ook op korte termijn al aanzienlijke risico's. Van neodymium, lithium en dysprosium is de gemiddelde Nederlandse vraag in de komende tien jaar al meer dan 1% van de huidige mondiale productie. Bovendien versnellen veel landen, waaronder de Verenigde Staten, hun klimaatambities. Daarmee zal naar verwachting ook de vraag van andere landen flink toenemen.

Gezien het feit dat het openen van een nieuwe mijn tussen de 10 en 15 jaar kost en ook het opschalen van raffinagecapaciteit een flinke doorlooptijd heeft, is er een reëel risico dat de vraag op korte termijn sneller groeit dan het aanbod. Bovendien groeit met een sterkere afhankelijkheid van enkele landen het risico op verstoringen in de beschikbaarheid van grondstoffen, waardoor fabricage van producten vertraging op kan lopen. Als hier niet op tijd wordt op ingespeeld, kan de energietransitie vertragen of duurder worden.

Winning vindt plaats in beperkt aantal landen

De winning van de kritieke metalen die nodig zijn voor de energietransitie, vindt plaats in een beperkt aantal landen. Daarmee is de wereldmarkt voor het overgrote deel van haar vraag afhankelijk van de productie in die landen. Bij zeldzame aardmetalen is de voornaamste producent China (62%), voor lithium zijn dit Australië (52%), Chili (22%) en China (13%), voor nikkel Indonesië (30%) en de Filipijnen (16.%), voor kobalt is dit Congo (69%) en voor platina Zuid Afrika (82%). De winning van de benodigde metalen per technologie is weergegeven in figuur 15.





Figuur 15 Winning van kritieke metalen die nodig zijn voor een duurzaam energiesysteem.

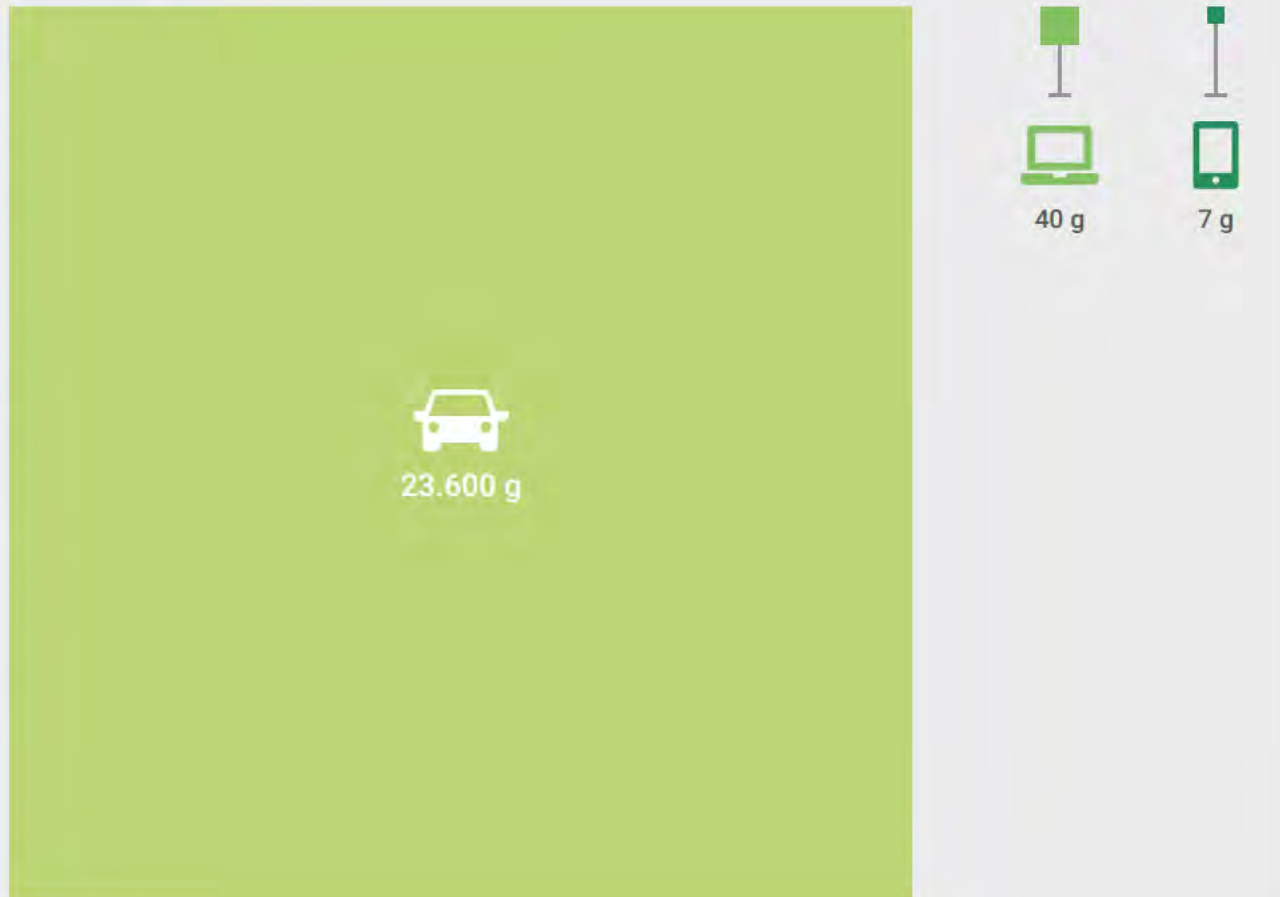
Metaalvraag energietransitie in relatie tot andere technologieën

Kritieke metalen zijn daarbij niet alleen nodig voor de energietransitie, maar ook voor andere technologieën. Er zijn al miljarden elektronische apparaten geproduceerd met batterijen die ook lithium, kobalt en nikkel bevatten. Ook worden er neodymium-magneten gebruikt in koptelefoons en in harde schijven (HDD). In absolute zin is de vraag voor duurzame energietechnologieën echter vele malen hoger dan de vraag voor bijvoorbeeld elektronica, zoals mobiele telefoons, laptops en sensoren. Dit is geïllustreerd in onderstaand kader.

De hoeveelheden kritieke metalen die er nodig zijn voor de energietransitie is vele malen groter dan huidige toepassingen. Zo bevat een iPhone 6 ongeveer 7 gram kobalt en 0,9 gram lithium. De batterij (NMC111 60 kWh) van een elektrische auto bevat 23.600 gram kobalt en 8.300 gram lithium.³⁸ De kobaltvraag van één elektrische auto staat dus gelijk aan die van 3.300 iPhones.

Zelfs in het energiescenario met de laagste metaalvraag - het scenario Internationale sturing - is de verwachte lithiumvraag tussen 2020 en 2050 (130-178 kton). Dat staat gelijk aan 144.000.000.000 iPhones, bijna 8.500 per persoon.

Figuur 16 → Hoeveelheid kobalt in een elektrische auto, een laptop en een iPhone.



05

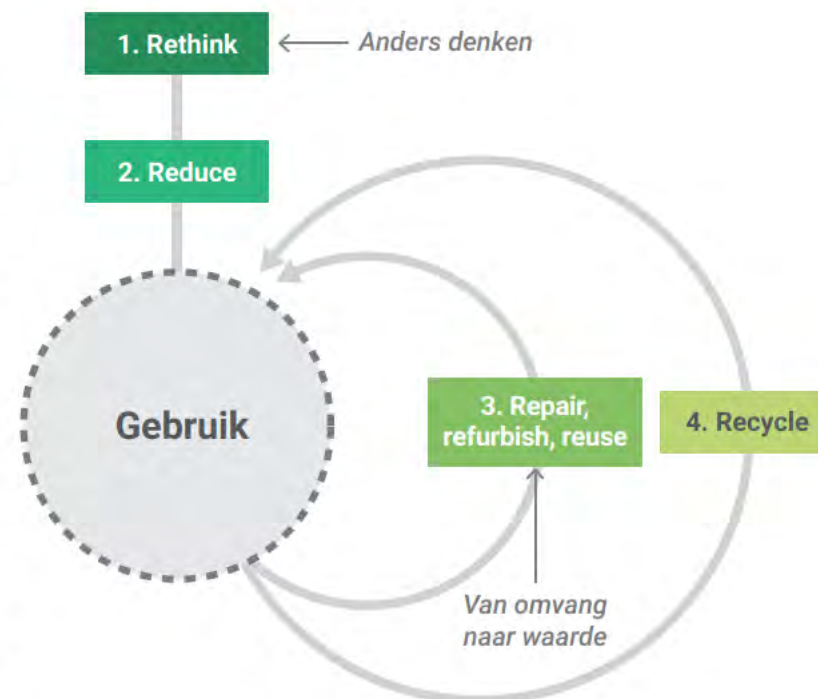
OPLOSSINGS- RICHTINGEN

Een wereldwijd klimaatneutrale energievoorziening in 2050 is niet haalbaar vanuit een materiaalperspectief, wanneer we uitgaan van de huidige mijnbouwproductie (aanbod) en duurzame energietechnologieën (vraag). Wereldwijd zal er gewerkt moeten worden aan zowel het verhogen van de mijnbouwproductie als het verlagen van de metaalvraag van duurzame energietechnologieën. Omdat mijnbouw in Nederland geen mogelijkheid is en de Nederlandse invloed op mijnbouwbedrijven beperkt is, richt dit hoofdstuk zich op vier circulaire strategieën om de vraag naar kritieke metalen te verminderen: *Rethink, Reduce, Repair* en *Recycle*

VIER CIRCULAIRE STRATEGIEËN OM METAALVRAAG TE BEPERKEN

Een manier om onze vraag naar kritieke metalen te beperken is door principes van de circulaire economie toe te passen. De circulaire economie is gericht op het behoud van waarde in ons economisch systeem, waarmee we de vraag naar (primaire) grondstoffen beperken en de bijbehorende negatieve effecten op mens en milieu verminderen.

Na het besparen van zo veel mogelijk energie zijn er verschillende circulaire strategieën waarmee de waarde van producten, onderdelen en materialen zo lang mogelijk wordt behouden. Daarmee wordt de vraag naar nieuwe opwek, transport en opslagcapaciteit beperkt, waarmee ook de hoeveelheid daarvoor benodigde kritieke metalen afneemt. Er zijn vier circulaire strategieën uitgewerkt, die ook zijn weergegeven in figuur 17.



Figuur 17 → Circulaire strategieën voor het verlagen van de metaalvraag.



Rethink: aansturen op energiebesparing en herontwerpen van het systeem zodat er minder producten nodig zijn;



Reduce: verhogen van de materiaalefficiëntie van een product en het vervangen van kritieke door minder kritieke metalen (substitutie);



Repair (+ refurbish & repurpose): verlengen van de levensduur van producten of componenten;



Recycle: terugwinnen van materialen

Vertretpunt: scenario *nationale sturing*

Om de potentie van de circulaire strategieën op een goede manier inzichtelijk te maken, is één van de vier energiescenario's als referentie gebruikt. Daarbij is het nationale sturing scenario gekozen, omdat hier zo min mogelijk energie wordt opgewekt buiten de landsgrenzen. Daarmee zijn de weglekeffecten van metalen die in het buitenland nodig zijn voor de opwek van Nederlandse energievraag zo beperkt mogelijk. Tabel 2 geeft een overzicht van de uitwerking en de aannames van de vier circulaire strategieën.

Deze aannames zijn gedaan om te laten zien wat de potentie is van de verschillende strategieën. Sommige aannames vragen om verdere uitwerking rondom de technische en maatschappelijke haalbaarheid. Vooral rond *Rethink* zou een geïntegreerde systeemstudie uitgevoerd moeten worden om te onderzoeken of en met welke consequenties deze circulaire strategie haalbaar is.

Tabel 2: Uitwerking & aannames van de vier circulaire strategieën

STRATEGIE	TOELICHTING	AANNAMES
Rethink	• Beperken van de opwek-, transport- en opslagcapaciteit van elektriciteit • Beperken van aantal elektrische autos	• 50% reductie capaciteit systeembatterijen • 25% reductie aantal personenauto's • 20% reductie opgesteld vermogen zon en wind. • 20% reductie infrastructuur (kabels, transformatoren) • 20% reductie elektrolyzers
Reduce	• Verbeteren van efficiëntie van technologieën • Toepassen van technologieën met minder kritieke metalen (substitutie)	• 100% batterijtechnologie zonder kobalt of nikkel (zoals LFP). • 100% windturbine-technologie met minder neodymium (gearbox) • 100% waterstoftechnologie zonder Iridium
Repair	Verlengen van de levensduur van technologieën	• 25% verlenging van gemiddelde levensduur van opwek- en opslagtechnologieën en elektrisch vervoer.
Recycle	Terugwinnen en hergebruiken van materialen aan einde levensduur	• 95% terugwinning van materialen bij einde levensduur



Figuur 18 Potentieel effect van de vier circulaire strategieën op de jaarlijkse metaalvraag (periode: 2040-2050) voor de tien metalen met de grootste relatieve vraag.

CIRCULAIRE POTENTIE VAN GECOMBINEERDE STRATEGIEËN

Door de combinatie van de verschillende circulaire strategieën kan de vraag naar kritieke metalen in de periode 2040-2050, wanneer de vraag het hoogste is, significant dalen. Voor Iridium en kobalt zou er zelfs helemaal geen primaire vraag meer hoeven te zijn.

Verder zijn de grootste besparingen te zien bij zeldzame aardmetalen: neodymium (93%), dysprosium (82%) en praseodymium (81%). Ook de gemiddelde jaarlijkse vraag naar lithium in 2040 en 2050 kan met 77% afnemen.

Deze combinatie van strategieën leidt volgens deze scenario's voor de gemiddelde vraag in de periode 2040-2050 tot de volgende resultaten:

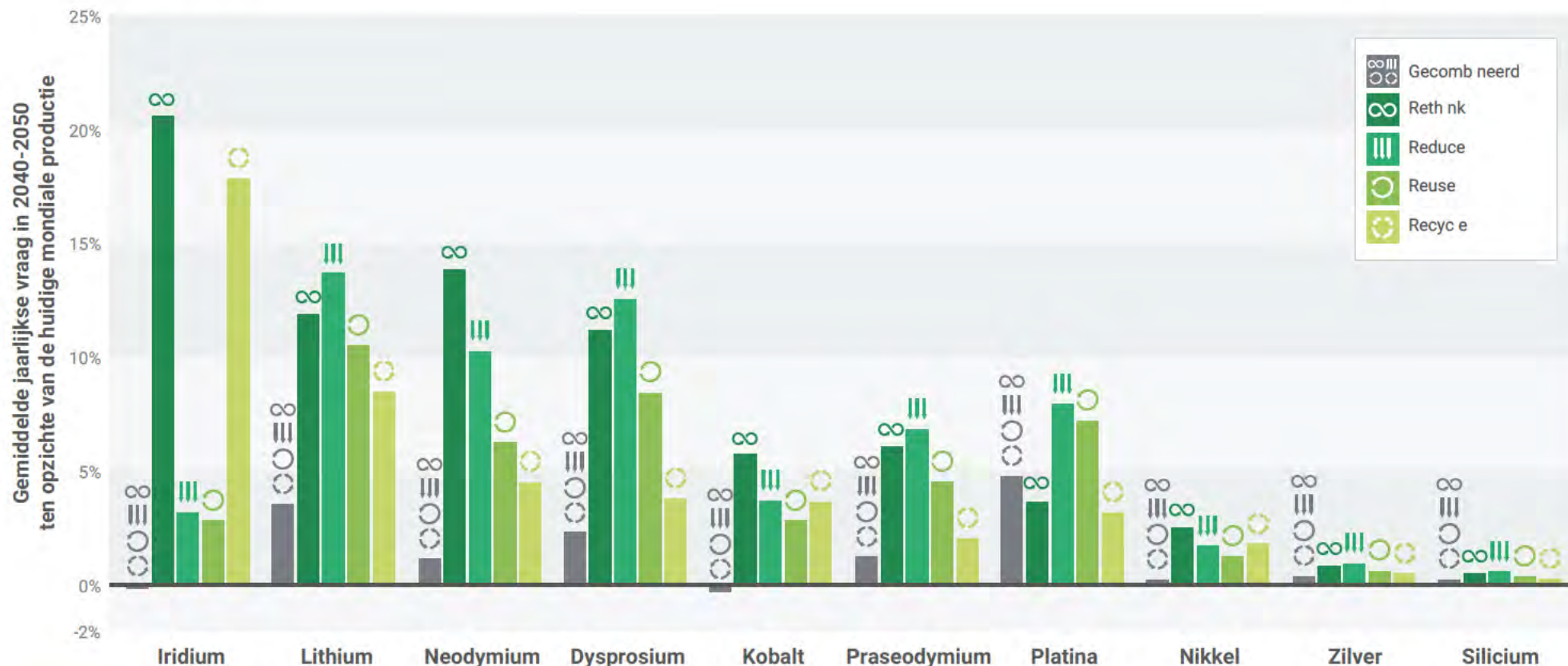
- De lithiumvraag daalt van 25% tot circa 3,5% van de huidige wereldwijde jaarproductie, die nodig is voor accu's van elektrische auto's en systeembatterijen.
- De neodymiumvraag daalt van 15% tot 1,1% van de huidige wereldwijde jaarproductie, vooral voor toepassing in permanente magneten van windturbines en elektromotoren van auto's.

- De platinavraag stijgt van 4,5% naar 6% van de huidige wereldwijde jaarproductie, waarbij deze nodig is voor de productie van waterstof. De stijgende platinavraag als gevolg van de circulaire strategieën komt door de vervanging van iridium bij de productie van waterstof, waarbij voor de elektrolyse geen PEM meer wordt gebruikt maar alleen maar alkaline.

- Voor iridium en kobalt kan vanuit Nederland richting 2050 in theorie meer aanbod ontstaan dan vraag, doordat nieuwe technologieën minder kritieke metalen bevatten (Reduce) en metalen uit vrijkomende technologieën worden teruggewonnen.

Inzetten op één circulaire strategie levert onvoldoende effect op

Om deze reductie te realiseren is het nodig om in te zetten op een combinatie van *Rethink* (een ander energiesysteem), *Redesign* (een ander ontwerp van technologieën), *Repair*



Figuur 19 Gemiddelde jaarlijkse metaalvraag voor de individuele strategieën (periode: 2040-2050).

(verlengen van de levensduur) en *Recycle* (terugwinnen van materialen aan het einde van de levensduur). Inzet op één of enkele van deze vier strategieën is onvoldoende omdat zowel de vraag gereduceerd moet worden, maar ook het aanbod uit recycling omhoog moet. Figuur 19 laat zien wat de jaarlijkse gemiddelde vraag in 2040-2050 is van de individuele strategieën. De metaalvraag is in veel gevallen nog steeds aanzienlijk ten opzichte van de huidige productie.

Inzetten op circulaire strategieën is nu nodig voor toekomstige baten

Veel van deze strategieën kunnen niet van de ene op de andere dag worden gerealiseerd en vragen om een goede voorbereidingstijd. Om de toekomstige potentie van de circulaire strategieën te realiseren, is het daarom belangrijk om op korte termijn al stappen te zetten. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om het meenemen van het materiaalperspectief in het ontwerp van het energiesysteem (*Rethink*), het investeren in ontwikkeling van technologieën met minder kritieke metalen (*Reduce*), het vormgeven van wetgeving en fiscale regelingen voor levensduurverlenging en reparatie (*Repair, refurbish & repurpose*) en het investeren in de opbouw van voldoende recyclingcapaciteit (*Recycle*).

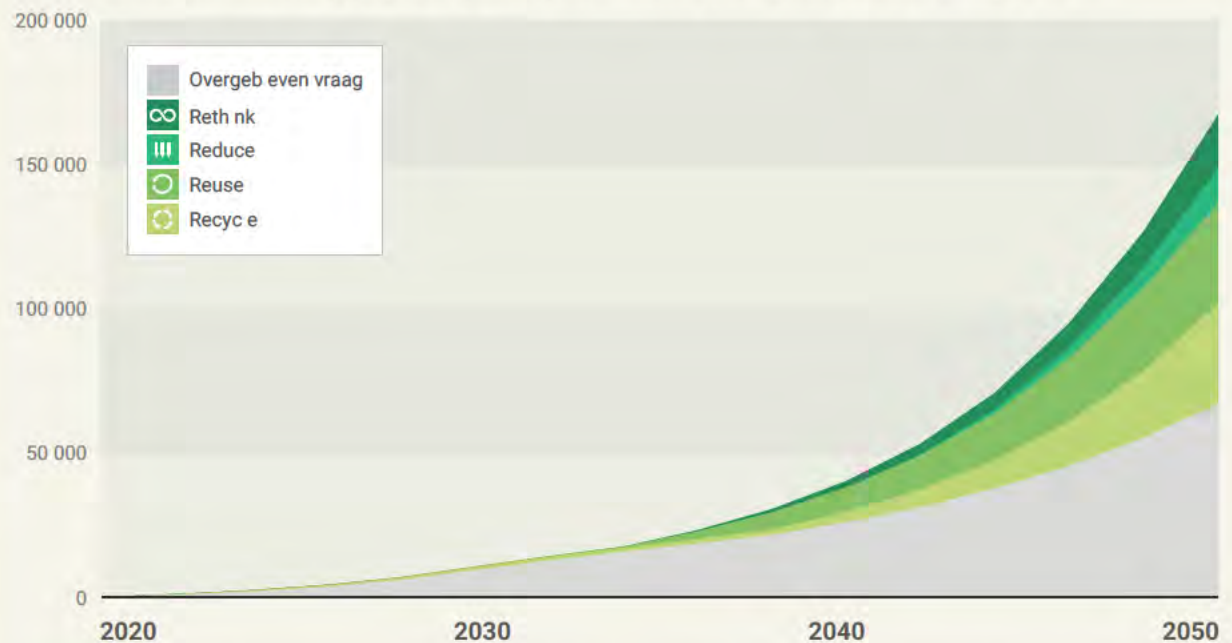
Ook opschaling mijnbouwproductie blijft nodig

Ook bij toepassing van alle circulaire strategieën blijft er een resterende metaalvraag die hoger is dan het Nederlands aandeel in het wereldwijde BNP (1,0%), het energieverbruik (0,5%) en de bevolking (0,2%). Een verantwoorde opschaling van de wereldwijde mijnbouwproductie blijft daarmee nodig om de transitie naar een duurzaam energiesysteem wereldwijd te kunnen maken en daarmee ernstige klimaatverandering te voorkomen.

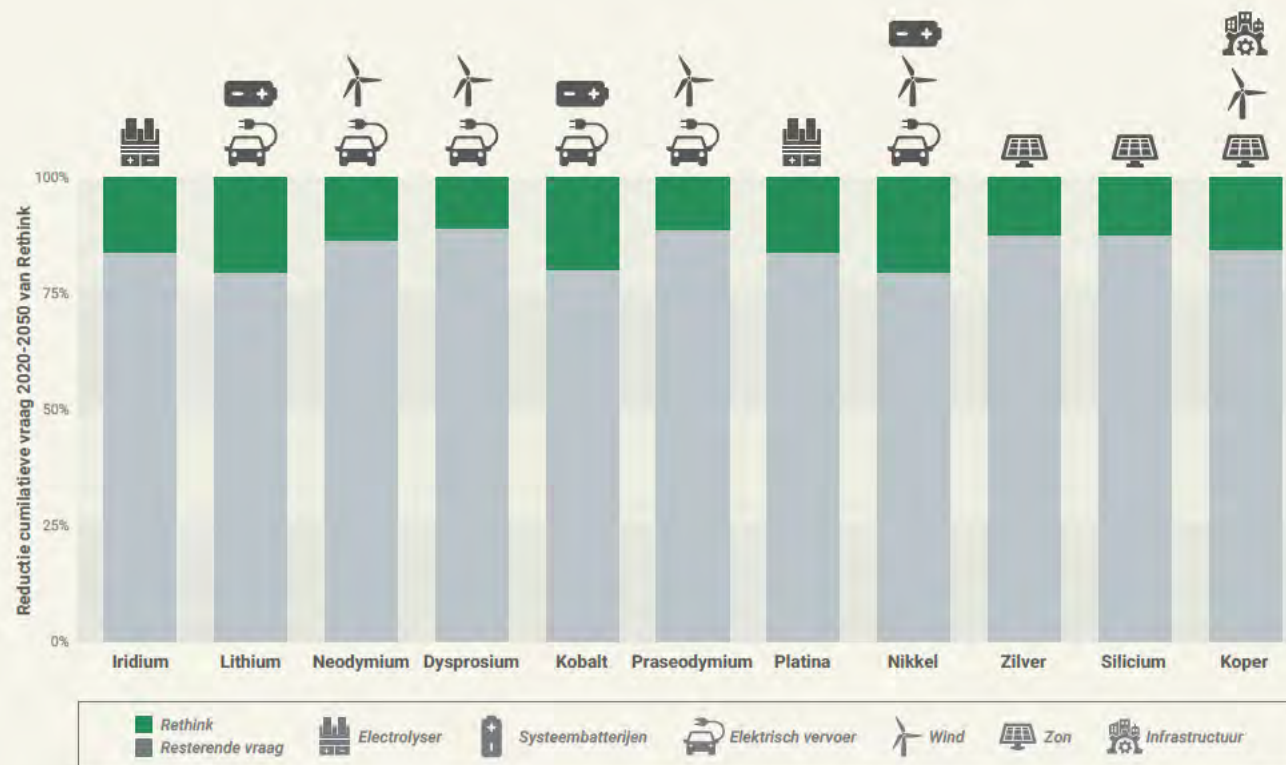
Illustratie: Lithiumreductie 2020-2050

De reductie van de kritieke metaalvraag vindt niet alleen op één moment plaats, maar groeit over de tijd. Daarbij is er een onderscheid tussen de reductie in vraag op één moment (bijvoorbeeld in 2050) of de cumulatieve reductie in vraag (over de periode 2020-2050). De grafiek in figuur 20 laat zien hoe de reductie van de lithiumvraag over de tijd plaatsvindt

vanuit de verschillende circulaire strategieën. Daarbij zijn de effecten van levensduurverlenging (*Repair, refurbish & repurpose*) vanaf 2035 al zichtbaar. De effecten van een ander ontwerp van het energiesysteem (*Rethink*) volgen pas later, omdat systeembatterijen naar verwachting pas vanaf 2040 een grotere rol gaan spelen.



Figuur 20 Cumulatieve lithiumvraag tussen 2020 en 2050, inclusief het reductiepotentieel van de verschillende circulaire strategieën.



Figuur 21 Reductiepotentieel van *Rethink*-strategie voor de tien metalen die relatief het meest gebruikt worden, per technologie waarin deze metalen zijn verwerkt.

Rethink richt zich op het verminderen van de benodigde opwek, transport en opslagcapaciteit. Dat kan onder meer bereikt worden door energiebesparing en inzet op een sterkere interconnectiviteit binnen het energiesysteem. Daarnaast gaat deze strategie uit van een mobiliteitssysteem met minder voertuigen, waardoor er ook minder batterijcapaciteit nodig is. Figuur 21 illustreert het reductiepotentieel voor de tien relatief meest gebruikte metalen.

Aannames

∞ Rethink

- 50% reductie van capaciteit systeembatterijen
- 25% reductie van het aantal personenauto's
- 20% reductie van opgesteld vermogen zon en wind
- 20% reductie netcapaciteit
- 20% reductie elektrolyzers

Potentiële effecten

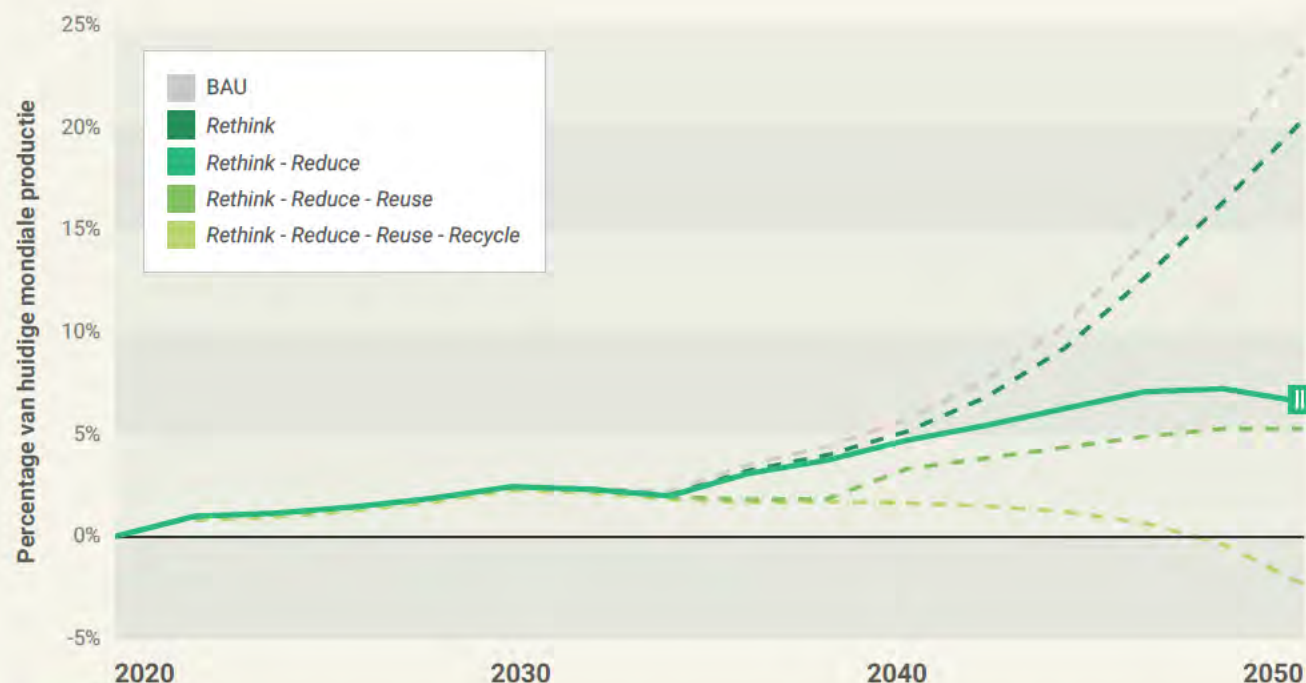
- De gemiddelde jaarlijkse vraag (periode: 2045-2050) van de tien relatief meest gebruikte metalen kan met 9% tot 18% worden verlaagd. Deze reductie is gelijkmatig verdeeld over de verschillende metaalsoorten.
- Verdergaande reductiemaatregelen lijken mogelijk, onder meer door in te zetten op een mobiliteitssysteem met (nog) minder voertuigen. Daarvoor is het nodig om het huidige aantal van 8,7 miljoen auto's verder terug te dringen dan 25%. Door meer in te zetten op deelauto's zou in de Nederlandse vervoervraag kunnen worden voorzien met 5,7 miljoen personenauto's en 240.000 deelauto's: een reductie van ruim 30%.^{39, 42}

Benodigde inzet

- Grootschalige energiebesparing om de totale vraag naar opwek, transport en opslagcapaciteit te verlagen
- Meer flexibiliteit in elektriciteitsvraag van (groot) verbruikers waardoor minder opslagcapaciteit nodig is, vooral tijdens piekmomenten
- Efficiënter gebruik van voertuigen door het mobiliteitssysteem in te richten op basis van meer deelmobiliteit, waardoor minder elektrische voertuigen nodig zijn.
- Optimaal gebruik van batterijcapaciteit door accu's in personenauto's zoveel mogelijk in te zetten als systeembatterijen.
- Ontwerp van het energiesysteem waarbij de metaalvraag één van de afwegingen is, naast onder meer betaalbaarheid, draagvlak en ruimtelijke inbedding.



REDUCE: STIMULEER TECHNOLOGIEËN MET MINDER KRITIEKE METALEN



Figuur 22 Ontwikkeling van de jaarlijkse kobaltvraag als percentage van de huidige wereldproductie.

De circulaire strategie **Reduce** gaat uit van technologieën die minder of geen kritieke metalen bevatten, maar wel al voldoende bewezen zijn en op commerciële schaal kunnen worden geproduceerd. Deze technologieën hebben op dit moment echter niet altijd de overhand als gevolg van hogere kosten of lagere prestaties (voorbeeld: de energiedichtheid van een LFP batterij is 30-40% lager dan van een NMC batterij).

Aannames

∞ Rethink	+
III Reduce	-
100% batterijtechnologie zonder kobalt of nikkel (wel: LFP-batterijen). 100% windturbine-technologie met minder neodymium (wel: turbines met gearbox) 100% waterstoftechnologie zonder iridium (wel: Alkaline technologie, met platina)	

Potentiële effecten

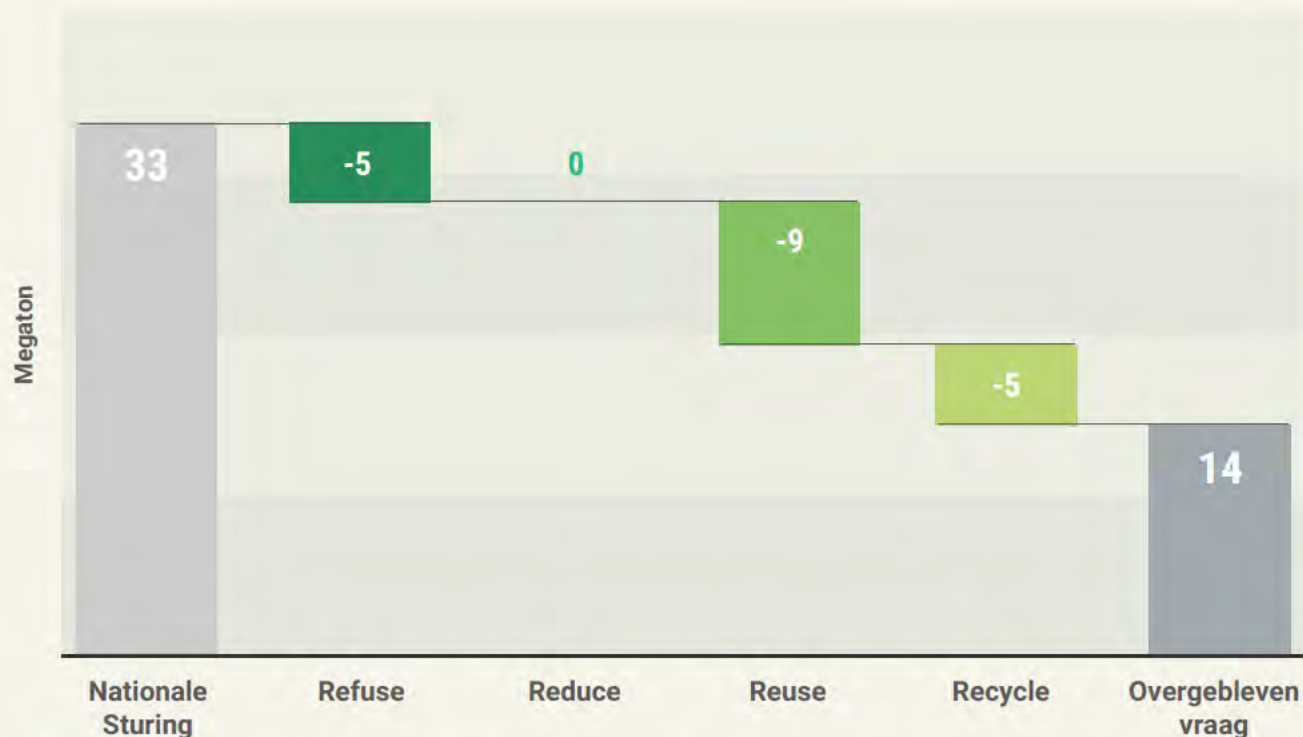
- De vraag naar de meest kritieke metalen daalt aanzienlijk: voor de periode 2045-2050 is er tot 60% minder kobalt en nikkel nodig en zelfs tot 90% minder iridium ten opzichte van Rethink. Ook de vraag naar neodymium kan met ruim 30% worden teruggebracht.
- De totale hoeveelheid metalen die nodig is voor de energietransitie neemt nauwelijks af (0.7%). Dat komt omdat er vooral een verschuiving plaatsvindt naar metalen die minder kritiek zijn. Zo worden met een LFP batterij kobalt en nikkel vervangen, maar is hiervoor wel meer ijzer nodig.
- Omdat kritieke metalen vaak kostbaar zijn, verlaagt deze strategie de potentiële vrijkomende waarde bij recycling. Daardoor kan de businesscase voor het terugwinnen van metalen minder goed uitvallen.

Benodigde inzet

- Investeren in de opschaling van opwek- en opslagtechnologieën** die minder kritieke metalen bevatten (substitutie) maar wel al marktklaar zijn (TRL 9).
- Stimuleren van technologieën met minder kritieke metalen**, bijvoorbeeld door hierop te sturen met innovatiesubsidies en in tenders voor wind- en zonneparken.



REPAIR: VERLENG LEVENSDUUR VAN PRODUCTEN EN ONDERDELEN



Figuur 23 Reductie van de verschillende circulaire strategieën op de totale hoeveelheid grondstoffen die er tussen 2030 en 2050 nodig zijn voor de onderdelen die in dit onderzoek zijn meegenomen.

De circulaire strategie **Repair** richt zich op het verlengen van de levensduur van technologieën. Doordat windmolens, elektrische auto's of zonnepanelen langer meegaan hoeven deze minder vaak vervangen te worden. Door in te zetten op reparatie en onderhoud wordt zowel de economische waarde van producten en onderdelen behouden als de vraag naar producten met kritieke metalen verlaagd. Figuur 23 laat zien dat deze strategie het grootste effect heeft van de vier strategieën op het reduceren van de totale primaire metaalvraag.

Aannames

∞	Rethink	+
III	Reduce	+
○	Repair	-

- Verlengen van de gemiddelde levensduur van technologieën met 25%.

Potentiële effecten

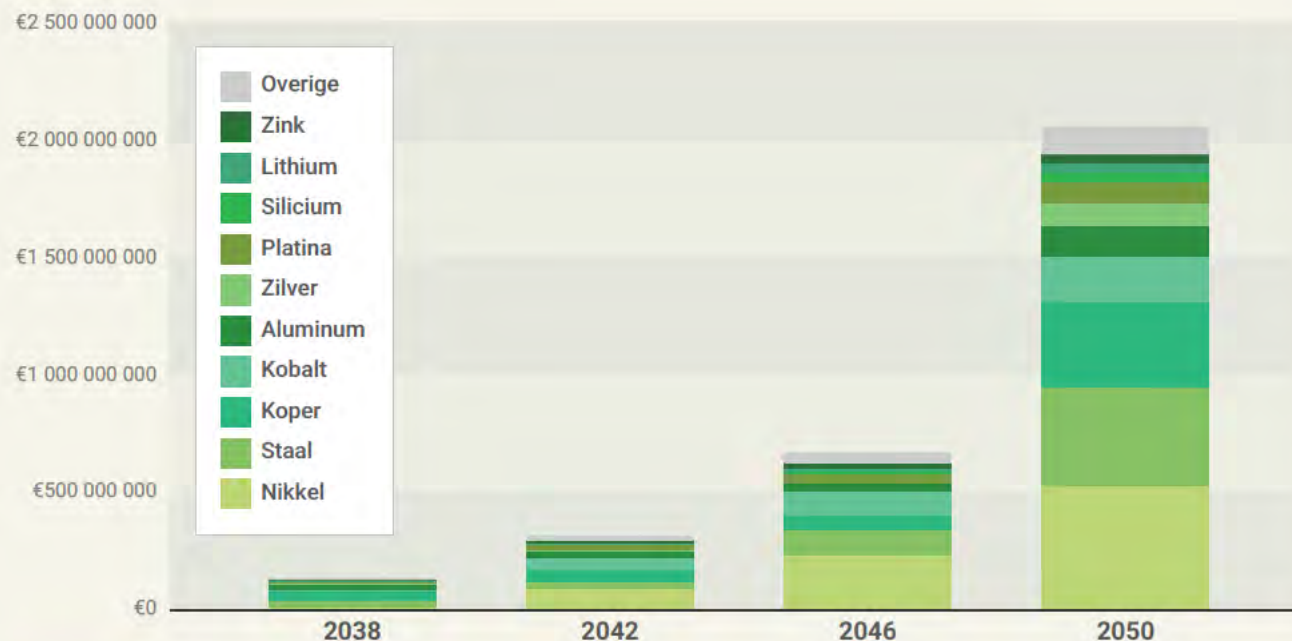
- Er zijn minder kritieke metalen nodig, omdat technologie minder snel vervangen hoeft te worden. Door levensduurverlenging wordt de vraag vooral vanaf 2030 gedempt, omdat rond dat moment de grootschalige vervanging van technologieën start die vanaf 2010 toegevoegd zijn.
- De cumulatieve metaalvraag kan tussen 2020 en 2050 met bijna een kwart dalen. De grootste reductie van de materiaalvraag is te danken aan het verlengen van de levensduur van zonnepanelen en windmolens.
- Als gevolg van de langzamere opbouw van het duurzaam energiesysteem stijgt het aanbod metalen voor recycling minder snel.

Benodigde inzet

- **Aanscherping wet- en regelgeving** over de minimale levensduur van producten (o.a. vanuit Ecodesign richtlijnen), afspraken over verlengde producentenverantwoordelijkheid tijdens de levensduur en juridische borging van verantwoordelijkheid bij herinzet van producten.
- **Meer technisch- en servicepersoneel** dat onderhoud en reparatie van installaties kan verzorgen.
- **Belastingverschuiving** van arbeid naar grondstoffen en vervuiling om een businesscase te creëren voor reparatie en herinzet.
- **Onderzoek** naar technische barrières voor herinzet (repurpose) van producten of onderdelen, bijvoorbeeld van autobatterijen als statische energieopslag in de gebouwde omgeving.



RECYCLE: HERGEBRUIK MATERIALEN UIT ENERGIETECHNOLOGIEËN



Figuur 24 Potentiële theoretische waarde van vrijkomende materialen uit de Nederlandse energie-infrastructuur.

De circulaire strategie **Recycle** richt zich op het terugwinnen van de metalen aan het einde van de levensduur van duurzame energietechnologieën. Dit is de meest laagwaardige circulaire strategie, die geschikt wordt als de andere strategieën zijn doorlopen of niet meer mogelijk zijn. Maar goede recycling met zo min mogelijk verliezen is wel een vereiste. Vroeg of laat zullen producten op materiaalniveau teruggebracht moeten worden in het systeem. Figuur 24 laat de waarde van de vrijkomende materialen zien, tegen de huidige nieuwe materiaalprijs.

Aannames

∞	Rethink	+
III	Reduce	+
○	Repair	+
♻️	Recycle	-

- Recyclingpercentage van 95% van alle metalen, aan het einde van productlevensduur

Potentiële effecten

- Vanaf 2040 nemen de vrijkomende volumes significant toe, omdat rond die tijd veel technologieën het einde van hun levensduur hebben bereikt en vervangen dienen te worden. Tegelijkertijd is er ver voor 2040 al voldoende volume dat vrijkomt om recycling technologie op te zetten. Vooral voor batterijen van auto's, zonnepanelen en windmolens zijn er al eerder aanzienlijke volumes die vrijkomen.
- Voor de periode 2040-2050 kan recycling leiden tot een vraagreductie van 20-80% van de tien metalen die, ten opzichte van de huidige productie, het meest worden gebruikt, bovenop de effecten die er behaald worden met *Reuse, Repair, Reduce* en *Rethink*.
- Theoretisch gezien kan Nederland rond 2050 netto exporteur van kobalt worden. Dit komt doordat kobalt verdwijnt uit nieuwe batterijtechnologie, terwijl er wel kobalt vrijkomt uit recycling van oude batterijen.
- De waarde van jaarlijkse vrijkomende metalen stijgt tot ruim €2 miljard in 2050 (op basis van de huidige materiaalprijs) en neemt verder toe na 2050.

Benodigde inzet

- **Design for recycling** om producten zo te ontwerpen, dat kritieke metalen eenvoudiger teruggewonnen kunnen worden
- **Verbetering recyclingtechnologie** om de zuiverheid van het gerecyclede metaal te verhogen
- **Investeren in recyclingcapaciteit en -infrastructuur** om te zorgen voor voldoende schaalgroottes voor het ontmantelen, vervoeren en verwerken van duurzame technologieën
- **Verhogen kennisniveau** rondom recycling, waarbij het vooral gaat om specialistische technische kennis binnen de industrie



06

NEDERLANDSE METAAL- INDUSTRIE

De Nederlandse industrie kan een belangrijke rol spelen bij het realiseren van de vier circulaire strategieën. Het aantal Nederlandse bedrijven dat een positie heeft in de toevokerketen van kritieke metalen is echter beperkt. Ook specifiek rondom de productie van duurzame energietechnologieën zijn er nauwelijks Nederlandse partijen actief. Een heldere strategie en sterk industriebeleid zijn nodig om zowel een circulaire als minder afhankelijke energietransitie te bewerkstelligen.

Nederland is voor de productie van het overgrote deel van haar opwek en opslagcapaciteit afhankelijk van buitenlandse producenten en leveranciers. Zoals in H3 beschreven staat is geopolitieke afhankelijkheid een probleem dat vooral op EU niveau moet worden opgelost. Toch hebben ook enkele Nederlandse partijen een rol in de toevokerketen van kritieke metalen. Daarin liggen er kansen om in de toekomst een grotere rol te spelen, wanneer industriële partijen en de overheid de juiste investeringen doen.

De gehouden interviews (zie Bijlage I) bevestigen dat afhankelijkheid van grondstoffen een serieus risico begint te vormen voor de Nederlandse industrie. Dit wordt geïllustreerd door het recente nieuws dat één op de vijf fabrieken in Nederland productieproblemen heeft wegens groeiende wereldwijde schaarste aan productiemiddelen en materialen.⁴³ Om de industrie toekomstbestendig in te richten, is dus een andere aanpak nodig.

Goede inschatting kritieke materiaalstromen lastig

Het is lastig om accurate inschattingen te geven voor de volumes kritieke metalen die binnen de Nederlandse economie circuleren. Enerzijds komt dit doordat deze metalen in complexe producten zijn verwerkt, waarbij de precieze voorraad en samenstelling van deze producten niet bekend is. Daarnaast was er historisch eenvoudigweg geen aanleiding om deze data vast te leggen, waarmee er geen databases bestaan.

Voor bulkmaterialen geeft de materialenmonitor van CBS een inschatting. Onder leiding van het RIVM werkt een consortium aan de ontwikkeling van een centraal Grondstoffen Informatie Systeem (GRIS), waarmee deze informatie in de toekomst ook voor kritieke metalen beschikbaar zou moeten komen. De verwachting is dat een eerste versie eind 2022 gereed is.

ANALYSE: NEDERLANDSE BEDRIJVEN IN TOEVOERKETENS KRITIEKE METALEN

De Nederlandse metaalsector heeft in veel fasen van de toevokerketen van kritieke metalen een beperkte positie. Hier worden zes fasen onderscheiden, met logistiek als belangrijke aanvullende activiteit die bij elke fase nodig is. Per fase wordt een schets gegeven de belangrijkste activiteiten die binnen Nederland plaatsvinden.

-  **01** **Winning**
van ertsen (mijnbouw)
-  **02** **Raffinage** van geconcentreerd erts
tot puur metaal of legering
-  **03** **Productie**
van componenten
-  **04** **Assemblage**
van eindproducten
-  **05** **Onderhoud en levensduurverlenging**
van producten
-  **06** **Recycling** aan het einde van de
levensduur van producten
-  **07** **Logistiek**
tussen de verschillende stappen



Figuur 25 Schematische weergave van aanwezigheid van bedrijvigheid rondom kritieke metalen en de energietransitie in Nederland.

Uit onze eerste verkenning blijkt dat de Nederlandse industrie in verschillende delen van de keten een beperkte positie heeft. Dit beeld is niet compleet, en is gemaakt middels een inventarisatie op basis van een set interviews (zie Bijlage I).

Vooral in de eerste twee stappen van de keten, mijnbouw en raffinage, is er geen bedrijvigheid rond de verwerking van kritieke metalen. Er is wel bedrijvigheid rond het vervaardigen van componenten en eindproducten waar kritieke metalen in zitten. Hoeveel bedrijvigheid er exact is, is echter onbekend. Om dit in kaart te brengen is verder onderzoek nodig zijn. Verder heeft Nederland wel een sterke positie in logistiek.

Kenmerken Nederlandse metaalsector

De Nederlandse metaalsector bestaat voor het overgrote deel uit midden- en kleinbedrijf, met daarnaast nog enkele grotere bedrijven. Het MKB wordt vertegenwoordigd door de Metaalunie, waar zo'n 14.000 bedrijven op aangesloten zijn met zo'n 170.000 medewerkers. Grotere bedrijven – zoals Tata Steel en Philips – zijn aangesloten bij de ondernemersorganisatie FME, die ongeveer 2.200 leden met 220.000 medewerkers vertegenwoordigt. De werkgelegenheid in de Nederlandse basismetaal- en metaalproductenindustrie is daarmee groter dan in de chemische sector.⁴⁴

1. Winning

Nederland wint geen erts op haar eigen grondgebied. Nederland heeft wel een koloniale geschiedenis van mijnbouw, maar de Nederlandse rol is op dit moment beperkt tot het huisvesten van enkele brievenbusfirma's.⁴⁵ Nederland is dus afhankelijk van andere landen, veelal buiten Europa, voor de aanvoer van erts.

De geopolitiek, ketencomplexiteit en milieu-impact van mijnbouw is verder uitgewerkt in hoofdstuk 3.

2. Raffinage

Nederland kent een beperkt aantal bedrijven dat geconcentreerde ertsen raffineert tot metalen. De meest bekende is staalproductie door Tata Steel Europe (IJmuiden, 7 Mton productie). Daarnaast produceert Aldel Damco aluminium (Delfzijl, 180 kton productie) en maakt Nyrstar zink (Budel, 290 kton productiecapaciteit). Deze bedrijven produceren overigens grotendeels voor de buitenlandse markt, bijvoorbeeld voor Duitse autofabrikanten.

Als onderdeel van de toevokerketens van kritieke metalen is Nederland bijna geheel afhankelijk van buitenlandse partijen. Nederland heeft geen capaciteit voor de raffinage van kritieke metalen zoals zeldzame aardmetalen, lithium of kobalt. Het merendeel van die metalen wordt buiten Europa geraffineerd, met name in China.

Bij raffinage speelt naast schaarste ook afnemende kwaliteit van grondstoffen een rol. Nyrstar (Budel) ondervindt bijvoorbeeld een afnemende kwaliteit van zinkerts concentraten. Hoewel er wereldwijd nog voldoende zinkerts aanwezig is in de bodem, zijn de erts die gewonnen worden van steeds lagere kwaliteit.

3. Productie van componenten

In Nederland lijken er op dit moment weinig toeleveranciers te zijn van belangrijke componenten voor opwek of opslagcapaciteit. Daarentegen wordt in omliggende landen momenteel juist volop geïnvesteerd in productie hiervan. Zo staat er in 2021 ongeveer 40 GW aan productiecapaciteit van lithium ion batterijen in Europa en is er nog bijna 600 GWh in de pijplijn (zie figuur 26). Dat is circa 50% van de vraag in 2040.⁴⁷ Er zijn nog geen fabrieken publiekelijk aangekondigd binnen Nederland.



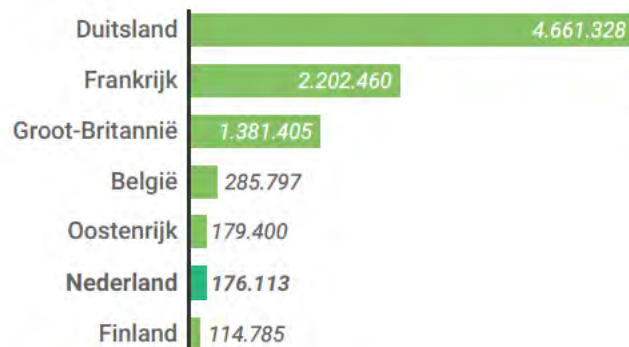
Figuur 26 Locaties van grote batterijfabrieken in Europa (bron: CIC energiGUNE).⁴⁷

4. Assemblage van eindproducten

Nederland heeft een bescheiden rol ten aanzien van productiebedrijven voor de energietransitie. In Nederland zelf worden geen windmolens geproduceerd (groter dan 1 MW), maar wel elektrische voertuigen en in beperkte mate ook zonnepanelen.

Voor de productie van eindproducten zijn zogenoemde 'ontwerpbedrijven' van belang. Een voorbeeld is Lagerwey: een Nederlandse 'producent' van windturbines. Lagerwey ontwerpt zelf haar product, maar laat de productie plaatsvinden in Duitsland. Het bedrijf Exasun heeft een eigen productielijn voor hoogwaardige zonnepanelen in Den Haag. Exasun heeft een capaciteit van 50 megawattpiek en wil binnen enkele jaren groeien naar 150 megawattpiek.⁴⁸ Dat is circa 5% van de totale hoeveelheid zonnepanelen die in Nederland in 2019 zijn geplaatst. Deze ontwerpbedrijven hebben relatief veel invloed op de vraag naar kritieke metalen, aangezien ze effect kunnen hebben op de hele toeleverketen.

Er is in Nederland bedrijvigheid rond elektrische mobiliteit. Zo ontwikkelt en produceert VDL Bus & Coach elektrische bussen in het zuiden van het land. Binnenkort opent VDL een nieuwe fabriek voor elektrische bussen in België.⁴⁹ Ook bouwt VDL samen met DAF elektrische vrachtwagens. Ten slotte werd bekendgemaakt dat VDL Nedcar de enige onafhankelijke autoproducent in Nederland vanaf 2022 ook elektrische auto's gaat produceren voor de Amerikaanse startup Canoo.



Figuur 27 Europese productie van passagiersvoertuigen (2019).⁵⁰

5. Reparatie en refurbishing

Er zijn op dit moment weinig partijen die zich bezighouden met het verlengen van de levensduur van duurzame energietechnologie na het eerste gebruik. Dit kan echter wel veel effect hebben op het verminderen van de benodigde hoeveelheid kritieke metalen. Denk daarbij aan activiteiten als *reparatie* en *refurbishment*: door het herstellen van oude energietechnologie hoeven er minder nieuwe zonnepanelen, windturbines en batterijen geproduceerd te worden.

Ter illustratie: er zijn in Nederland weinig partijen die zonnepanelen refurbishen, in tegenstelling tot bijvoorbeeld Duitsland en Italië waar dit al gebruikelijker is. Nederlandse marktpartijen zoals Boldz zijn nog kleinschalig. Een voorbeeld is het Duitse bedrijf Rinovasol dat al sinds 2014 op grote schaal gebruikte zonnepanelen koopt, repareert en vervolgens weer op de markt zet. Het refurbishen van een zonnepaneel komt vaak neer op het vervangen van lasdozen, het oplossen van verbogen frames of simpelweg schoonmaken en reviseren. Uitdagendere reparaties, zoals het repareren van glasschade, zijn in opkomst.

In Nederland komt dit nog niet goed van de grond omdat de zonne energiesector minder ver ontwikkeld is dan in andere landen, en er relatief weinig aanbod is van zonnepanelen aan het einde van hun levenscyclus. Dit aanbod zal naar verwachting groeien. Voor refurbishment van zonnepanelen zijn er een aantal barrières:

- Het is duur om een zonnepaneel te refurbishen of te repareren, omdat dit arbeidsintensief is en daarmee aanschaf van nieuwe panelen vaak goedkoper is.
- Partijen kunnen vaak geen garantie geven op prestaties van hergebruikte panelen.
- Er is niet ontworpen voor reparatie en refurbishment. Bijvoorbeeld doordat componenten samengesmolten of gelijmd zijn.

6. Recycling

Het recyclingproces bestaat uit meerdere stappen. Het materiaal moet worden ingezameld, dan gesorteerd en uiteindelijk wordt het omgesmolten. Tussen de stappen wordt er ook volop gehandeld met metalen. Nederland is vooral sterk in inzameling, sorteren en de handel. Een paar metalen kunnen ook in Nederland omgesmolten worden. Zo zijn er een aantal bedrijven uit de basismetaalindustrie die secundaire metalen van hoge kwaliteit produceren, zoals E Max (Kerkrade, aluminium), Uzimet (Rijswijk, recycling van lood tot bladlood) en de Nederlandse Onttinningsfabriek (Leeuwarden, tin). Tata Steel (IJmuiden, staal) en Nyrstar (Budel, zink) gebruiken relatief grote hoeveelheden schroot in de productie maar kunnen beiden niet zonder metaalertsen. Er zijn binnen Nederland echter nauwelijks smelters of raffinaderijen waar recycelaat van kritieke metalen tot kwalitatief hoogwaardige metalen of legeringen kan worden opgewerkt. Voorbeelden in buurlanden zijn Umicore (België) en de Aurubis Group (verspreid over Europa), die beide een grote variatie aan metalen verwerken.

Daarnaast kent Nederland zo'n 130 bedrijven waarbij over het algemeen kleinere handelingen verricht die metaalafval met behulp van grove scheidingsmethoden, zoals sorteren en shredderen, opwerken tot recycelaat. Denk bijvoorbeeld aan HKS (o.a. Tiel) en Van Peperzeel (Lelystad). De sector verenigd in de Metaal Recycling Federatie investeert zelf in betere scheidingstechnologieën zoals laser en röntgenidentificatie, waarmee verschillende metalen nauwkeuriger kunnen worden gescheiden. Deze technologieën zijn vaak echter niet geschikt om kritieke metalen uit duurzame energietechnologieën terug te winnen.

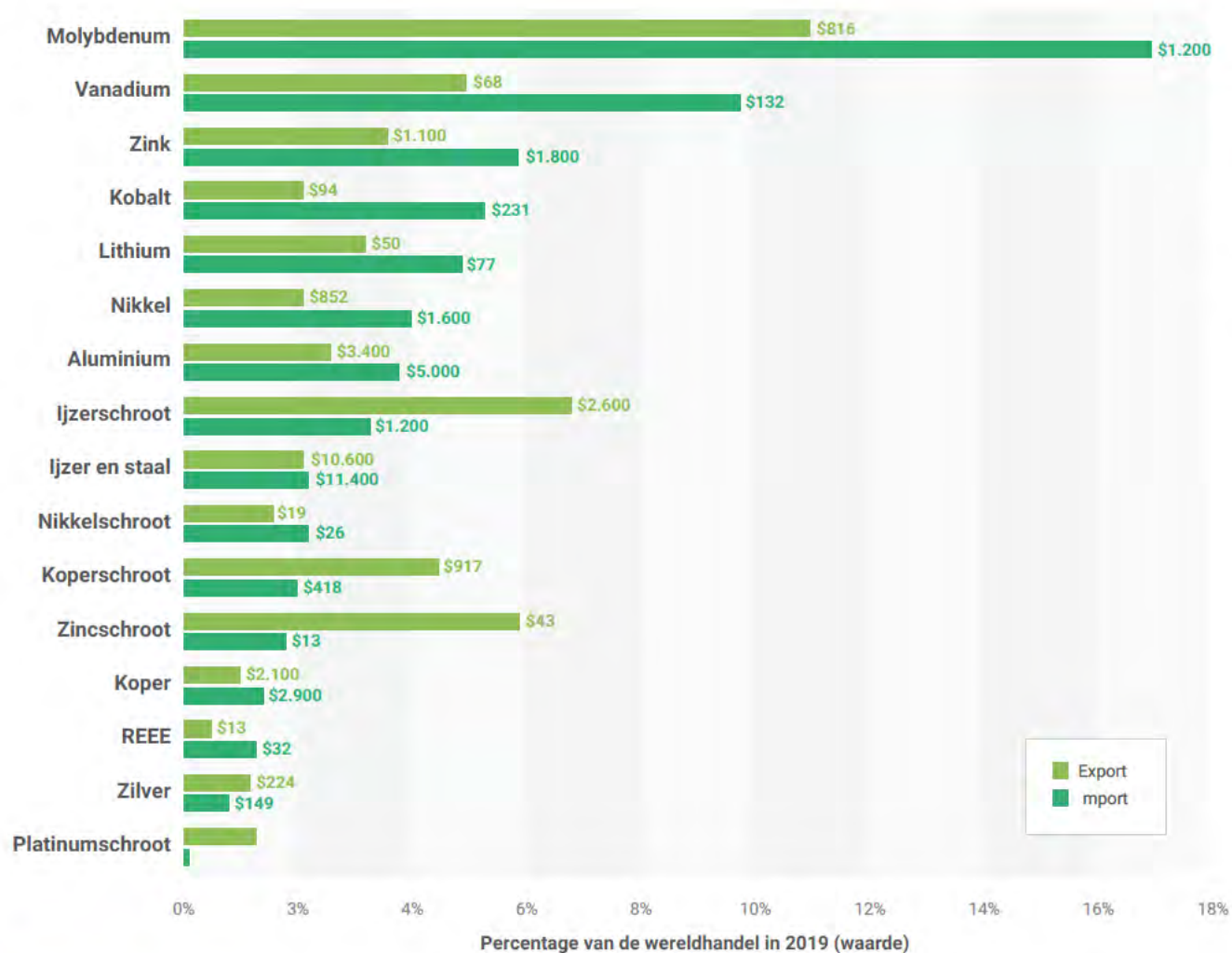
In Nederland ontbreekt capaciteit rondom het demonteren (het zo ver mogelijk uit elkaar halen van een product aan het einde van de levensduur tot de oorspronkelijke componenten zonder gebruik van destructieve methoden als shredderen) en de recyclingprocessen om hier kritieke metalen uit terug te winnen. Dit geldt voornamelijk voor elektronische producten. Nederland kent overigens wel relatief grote recyclingbedrijven (sorteren) voor elektronica, zoals Mirec (Remondis), Coolrec (Renewi) en SIMS Lifecycle Services. Deze bedrijven verzamelen elektronica afval, ontmantelen apparatuur en verhandelen waar mogelijk onderdelen of verschroten deze voor verdere verkoop.

Door in te zetten op verregaande demontage kan vermenging van metalen bij recycling tot een minimum beperkt worden. Dit is cruciaal voor het verhogen van de circulariteit van de metaalindustrie. Bij TATA Steel Europe is bijvoorbeeld de aanwezigheid van koperhoudende componenten in staalschroot een beperkende factor voor recycling. Als dit niet voorkomen kan worden door middel van productontwerp zal er hydro- of pyrometallurgische recycling moeten worden toegepast. Het kennisniveau op deze gebieden is in Nederland de afgelopen decennia afgenomen, deels wegens bezuinigingen op universiteiten.

7. Logistiek

De logistieke sector heeft een belangrijke rol te spelen, zowel in de klassieke toevoerketen (van erts tot eindgebruiker) als omgekeerd via reverse logistics. Nederland is met een aantal mainports een logistieke speler van wereldformaat (Delfzijl, Moerdijk, Groningen, Rotterdam, Schiphol). Nederland is bijvoorbeeld de op vier na grootste exporteur van ijzerschroot wereldwijd (met 7% van de wereldhandel), en staat ook voor veel andere typen schroot in de top 10. In 2019 importeerde Nederland voor \$27 miljard aan metalen en bedroeg de totale exportwaarde ruim \$21 miljard. Belangrijkste handelspartners zijn vaak onze buurlanden België en Duitsland.⁵¹

Ook speelt Nederland een logistieke rol in het importeren en exporteren van metalen die nodig zijn voor de energietransitie, waaronder kritieke metalen. Ter illustratie: Mitsubishi Materials Corporation opende in 2017 een centraal Europees inzamelings- en sorteercentrum in Moerdijk, waar het elektronica afval (PCB's) uit Europa verzamelt, sorteert en vervolgens vervoert naar haar centrale recyclingfabrieken in Naoshima en Onahama in Japan. Deze fabrieken hebben een jaarlijkse verwerkingscapaciteit van 140.000 ton. Figuur 28 geeft een overzicht van de import en export van metalen in 2019 door Nederland. Daaruit blijkt dat Nederland een relatief groot percentage van geïmporteerde metalen weer exporteert naar andere landen. Ook is Nederland een belangrijke exporteur van ijzer, zink en koperschroot.⁵¹



Voor de groep *Specialty metals*, waaronder ook zeldzame aardmetalen, kobalt, lithium en veel andere transitie-metalen vallen, speelt Nederland een sterke rol als doorvoerhaven naar Europa. De top 5 landen (qua economische waarde) waarvandaan Nederland deze metalen importeert liggen alle vijf buiten Europa: de Verenigde Staten, China, Brazilië, Chili en Zuid Korea. De belangrijkste landen waar Nederland deze metalen naar exporteert liggen binnen Europa: België, Duitsland, Zweden, Italië, en het Verenigd Koninkrijk.⁵¹

Figuur 28 Import en export van verschillende metalen door Nederland als percentage van de wereldhandel in 2019. Deze data gaat uit van economische activiteit in miljoenen dollars. Dit biedt een indicatie van de bijbehorende materiaalstromen, maar is geen exacte weergave.

INVESTERINGSKANSEN VOOR EEN CIRCULAIRE INDUSTRIE

De geopolitieke afhankelijkheid van de levering van kritieke metalen wordt een grote uitdaging voor de energietransitie. Deze geopolitieke vraagstukken zullen voornamelijk vanuit Europees perspectief moeten worden benaderd; Nederland is te klein om dit zelf op te lossen. Dit betekent echter niet dat Nederland zelf niets kan doen.

Nederland is een open economie, die goed is geïntegreerd met de rest van de wereld. Investeren in een circulaire economie is niet hetzelfde als proberen alle posities van een toevorketen binnen Nederland te organiseren. Wel heeft Nederland een aantal sterke punten, waardoor het een strategische positie kan opbouwen op enkele posities in de keten, en opportunistisch kan handelen naar kansen.

Voor een circulaire economie moet in verschillende fasen van de toevorketen anders omgegaan worden met materialen. Zo moet in de productiefase nagedacht worden over het ontwerp, in de gebruiksfase over levensduurverlenging, en bij het einde van de levensduur over de verwerking. Daarbij ligt het meest voor de hand om verder te investeren in de posities waar Nederland nu al gedeeltelijk positie heeft.



Raffinage

De drie raffinagebedrijven in Nederland (Tata Steel Europe, Nyrstar en Adel Damco) spelen nu al een grote rol in het sluiten van de metaalkringloop, en zijn dan ook de aangewezen partij om te onderzoeken in hoeverre deze rol kan worden uitgebreid. Bovendien ontstaan er bij raffinage van metalen veel afvalstromen waar nog kritieke metalen uit te winnen zijn. Deze afvalstromen worden nu nog vaak gedumpt of naar het buitenland verscheept.



Productie van eindproducten en componenten

Kritieke metalen zitten in een enorm scala van producten, zowel binnen de energietransitie als daarbuiten. Vanuit de problematiek van kritieke metalen is het minder relevant om te investeren in meer productiecapaciteit van componenten en eindproducten. Het is vooral zinvol om te investeren in het creëren van alternatieven en substituten, of andere strategieën die de veerkracht van toevorketens verbeterd. Hiermee wordt voorkomen dat eventuele leveringsproblemen direct tot onoverkomelijke verstoringen in de productie leiden.

Het Nederlandse bedrijfsleven kan zich vooral onderscheiden op het circulaire gedachtegoed en innovatiepotentie, niet zozeer op prijs. Een voorbeeld is Exasun, een zonnepaneelproducent die inzet op circulaire principes en kwaliteit in plaats van concurreert op prijs. Zo ontwerpt Exasun demontabele panelen die onder meer geïntegreerd kunnen worden in een dak of gevel.



Verlengen van levensduur

Ondanks dat er in Nederland veel reparatiewerkzaamheden plaatsvinden, gebeurt dit nog nauwelijks bij technologieën voor de energietransitie, zoals zonnepanelen en batterijen. Dit is hard nodig, omdat met deze strategie veel winst te behalen is en er géén aanvullende milieu impact plaatsvindt, wat bijvoorbeeld bij recycling wel het geval is.

Aangezien er binnen Nederland nog geen sterke activiteiten zijn op het gebied van reparatie en levensduurverlenging, zijn er investeringen nodig om het verder op te bouwen. Deze zouden zich hoofdzakelijk moeten richten op start en scale ups die zich bezighouden met het verlengen van de levensduur van duurzame energietechnologieën (middels *reparatie*, *refurbishment* of *repurpose*).



Recycling

Nederland heeft een relatief sterke positie in de verwerkingsfase. Zo is er sterke handel in het verwerken van schroot (zie figuur 28) en hebben we een goed systeem voor WEEE inzameling. Echter, hoewel er veel verwerkingscapaciteit aanwezig is, is dit niet gericht op kritieke metalen. Dit kan een aantal redenen hebben:

- Er verdwijnen veel afvalstromen naar het buitenland om deze stromen verder te verwerken, aangezien de laatste scheidingsstappen en raffinage elders plaatsvinden. Dat is qua afhankelijkheid niet per se een probleem zolang deze verwerking binnen Europa plaats vindt. Op dit moment vindt dit echter vaak ook buiten Europa plaats, zoals in China.
- Kritieke metalen worden niet als zodanig uit de stromen gewonnen, omdat er geen business case is. Dit komt door een combinatie van factoren zoals kleine volumes, zeer kleine concentraties van kritieke metalen in de grotere metaalstromen, en productontwerp dat het arbeidsintensief maakt om op hoog niveau te recycleren. De volumes zullen richting 2050 steeds groter worden.

Er zijn wel kansen voor het opbouwen van recyclingcapaciteit in Nederland. Hiervoor kan vooral gekeken worden naar sectoren waar op dit moment grote investeringen in worden gedaan. Zo kan Nederland een geschikte hub zijn voor demontage en verwerking van vrijkomende windturbines vanaf de Noordzee.

BENODIGDE RANDVOORWAARDEN VOOR INDUSTRIËLE ONTWIKKELING

Er zijn technisch mogelijkheden voor de Nederlandse metaalindustrie om een rol te gaan spelen in een circulaire economie rondom kritieke metalen. De voor deze studie gesproken bedrijven geven echter aan dat er voor hen drie randvoorwaarden zijn om hier daadwerkelijk de bijbehorende investeringen in te kunnen doen:

1. Lange-termijn industriebeleid
2. Aanscherping wet- en regelgeving
3. Continue kennisontwikkeling

1. Lange-termijn industriebeleid

Risico's rondom grondstoffen komen mede voort uit afwezigheid van een consistente visie en heldere strategie rondom grondstoffen, het ontbreken van lange termijn beleid en beperkte betrokkenheid of actieve sturing door de overheid. Nederland en de Nederlandse industrie concurreren immers met sterke spelers zoals China, die de grondstoffenmarkt gebruiken om geopolitieke doelstellingen na te streven.

Tot op heden heeft de Nederlandse (en ook Europese) overheid ingezet op marktwerking, met enkele kleine wettelijke ingrepen rondom bijvoorbeeld recycling en productontwerp. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld China, Japan en de VS, waar de overheid zeker in het geval van China sterker stuurt. Voor de toekomst is de Nederlandse, op marktwerking gebaseerde aanpak echter onvoldoende.

Een sterk industriebeleid is nodig om specifieke industriële activiteiten te stimuleren en ondersteunen. Binnen Nederland kan industriebeleid plaatsvinden in drie fasen in de toevoerketen: de ontwerpfase, de gebruiksfase en bij de verwerking (recycling):

- In de ontwerpfase gaat het om het mogelijk maken van toekomstig hergebruik van kritieke metalen, bijvoorbeeld door de inzet op *design for disassembly* en *design for recycling*. Zo wordt er aan de voorkant gezorgd dat er aan het einde van productlevenscyclus verwerkbaar stromen vrijkomen.
- In de gebruiksfase gaat het om inzetten op activiteiten die de levensduur van producenten en onderdelen verlengen. Daarmee ontstaat nieuwe economische activiteit en wordt tegelijkertijd de metaalvraag verminderd.
- In de recyclingfase is het zaak om de metaalstromen goed te kunnen verwerken en daarmee een zo zuiver mogelijk eindproduct te laten ontstaan. Hiervoor is ook sterke logistieke ondersteuning nodig om producten en onderdelen te sorteren en naar recyclinglocaties te transporteren.

Bij inzet op recycling is het belangrijk om investeringen de komende jaren te richten op grootschalige, 'omnivore' processen. Deze kunnen verschillende stromen verwerken en ook een breed scala aan materialen als output hebben. Er zijn twee redenen waarom dit van belang is:

1. Tot 2030 zijn er naar verwachting nog geen grote vrijkomende volumes per kritieke metaal. Het inzetten op specifieke stromen heeft daarom tot 2030 vaak geen goede business case.
2. De verwachting is dat het aanbod van kritieke metalen voor recycling voorlopig divers blijft, omdat kritieke metalen uit verschillende bronnen komen. Recyclingprocessen die kunnen omgaan met deze diversiteit hebben dus een voordeel. Denk bijvoorbeeld aan een recyclingproces dat verschillende soorten batterijen kan verwerken, in plaats van uitsluitend 811 NMC batterijen.

Wanneer volumes vervolgens na 2030 groter worden en de technologische onzekerheid kleiner is, kan de focus worden verlegd naar meer specialistische en meer efficiënte processen.

2. Aanscherping wet- en regelgeving

Wet en regelgeving is momenteel voornamelijk gericht op het stimuleren van recycling. Er is nauwelijks aandacht voor hergebruik en reparatie, terwijl juist deze strategieën enorme impact kunnen hebben. Door aanscherping van Europese Ecodesign richtlijnen begint hier langzaam verandering in te komen. Momenteel worden er voor veel nieuwe producten richtlijnen ontwikkeld, waaronder voor accu's en elektronica.¹⁵

Aanvullend op wet en regelgeving rondom productontwerp kan deze sturen op het productieproces. Denk hierbij aan instrumenten als minimale materiaalefficiënties en regels omtrent het prioriteren van kritieke metalen voor maatschappelijk belangrijke functies, zoals duurzame energietechnologieën. Een voorbeeld van vergelijkbare efficiëntiewetgeving is de energiebesparingsverplichting in industriële processen bij een terugverdientijd van minder dan vijf jaar. Een voorbeeld van prioriteren is het verbieden van het uitermate schaarse helium voor feestballonnen.

Daarnaast zijn er enkele fiscale regels waarvan de aanpassing een circulaire businesscases eenvoudiger maakt. Dit gaat om twee ook elders veelgenoemde aanscherpingen⁵²:

- Beprijzen van externe kosten zoals CO₂ uitstoot en milieuvervuiling, waarmee partijen financieel worden gestuurd op duurzame processen. Dit stimuleert de industrie voornamelijk om kritieke materialen te hergebruiken, omdat het winnen van nieuwe grondstoffen gepaard gaat met aanzienlijke externe kosten in vergelijking met het terugwinnen uit een recycleproces.

- Verlagen van belasting op arbeid, om de businesscase van direct hergebruik, reparatie en refurbishment te verbeteren. Een combinatie met een hogere belasting op (primaire) grondstoffen geeft een financiële prikkel voor het verlengen van de levensduur, wat vervolgens de toekomstige vraag naar kritieke metalen verlaagt.

Daarnaast wordt regelmatig een zekere mate van wet en regelgeving overwogen om vrijkomende materialen binnen Europa te verwerken. Denk aan een exportverbod van producten met bepaalde kritieke metalen, in lijn met het huidige exportverbod op afval. Dit kan echter ook averechtse effecten kan hebben zoals een exportverbod van andere landen richting Europa.

3. Continue kennisontwikkeling

Innovaties binnen de industrie zijn onder meer mogelijk omdat Nederland een sterke R&D infrastructuur heeft, vaak geclusterd rondom grote industriële spelers en technische universiteiten. Denk aan de combinatie M2i en Tata Steel Europe, of Metalot met o.a. de TU Eindhoven en Nyrstar. Nederlandse kennis beperkt zich over het algemeen echter tot de metalen waar de Nederlandse industrie zich historisch op heeft gericht: staal, zink, tin en in mindere mate aluminium.

Rondom alle andere metalen is de hoeveelheid kennis relatief beperkt. Ook ontbreekt er kennis over de toevoerketen en bijbehorende afhankelijkheden en risico's. Daardoor is de bestaande kennisinfrastructuur tot op heden onvoldoende gebleken om de problemen rondom kritieke metalen op tijd te ondervangen.

Diverse andere landen hebben eigen onderzoeksinstituten en denktanks die zich specifiek bezighouden met kritieke metalen. Voorbeelden zijn het *Critical Materials Institute* (CMI, VS), JOGMEC (Japan) en de *Deutsche Rohstoffagentur* (Duitsland). Deze instituten treden coördinerend op, en zorgen ervoor dat het kennisniveau rondom grondstoffen op peil blijft, ook als de aandacht verzwakt door een gebrek aan incidenten.

Organisaties als CMI en JOGMEC zijn niet alleen actief als denktank, maar hebben expertise en budget om gerichte investeringen te doen. Deze aanvullende expertise is nodig omdat er veel innovatieve ideeën zijn rondom productontwerp en recycling, maar risicodragende financiering achterblijft. Dit geldt vooral voor nieuwe en relatief risicovolle technologieën die zich al in het lab bewezen hebben (*Technology Readiness Level 5 6*), maar financiering nodig hebben voor opschaling naar pilotniveau (TRL 7 8).

Omdat Nederlandse partijen momenteel onvoldoende kennis hebben op het gebied van kritieke metalen, is structurele kennisontwikkeling nodig. Daarbij gaat het zowel om kennis rondom risico's en afhankelijkheden als ook om technische kennis ten behoeve van de industrie. Idealiter is deze kennisontwikkeling gekoppeld aan investeringsmogelijkheden voor onderzoek en innovatie, bijvoorbeeld in samenwerking met Europese programma's als *EIT Raw Materials*. Twee voorbeelden van kansen in de metaalindustrie die verzilverd kunnen worden door betere kennisontwikkeling, zijn opgenomen in bijgaande kader.

Voorbeeld: kansen metaalindustrie

Het bedrijf Nyrstar (vestiging in Budel) produceert zink. Bij de productie van zink ontstaan restproducten met kobalt, lood en koper, die nu niet in Nederland of zelfs helemaal niet verwerkt worden. Door grondstofstromen van industrieën beter in kaart te brengen wordt het mogelijk om industrieën beter op elkaar af te stemmen. Zo moet de specifieke manier waarop vliegasmateriaal wordt afgevangen, aansluiten op de manier waarop zink wordt gewonnen. Een voorbeeld is Elemetal, die verwerken bodemassen en brengen weer zink terug naar Nyrstar.

Ook heeft Nederland met de Nederlandse Onttinningsfabriek (NOF, Leeuwarden) een van de grootste onttinningsfabrieken van Europa. Hier wordt alleen maar fabrieksafval verwerkt, en geen post-consumer afval. Technisch zou het mogelijk moeten zijn *post-consumer* afval te verwerken, waarmee de tin cyclus veel beter gesloten kan worden.

07

AANBEVELINGEN

Met de huidige metaalproductie en metaalvraag per technologie zijn er onvoldoende kritieke metalen voor de wereldwijde transitie naar een schoon energiesysteem. Om ernstige klimaatverandering te voorkomen is een klimaatneutrale energievoorziening in uiterlijk 2050 echter cruciaal. Om Nederlandse risico's te beperken en een toekomstbestendige industrie op te bouwen moet aan vijf randvoorwaarden worden voldaan. Daarnaast is er aanvullende inzet nodig om de vier circulaire strategieën in de praktijk te brengen. Dit hoofdstuk schetst deze randvoorwaarden, circulaire strategieën en de aanbevelingen om daar invulling aan te geven.

Om de energietransitie mogelijk te maken is het zaak om structurele aandacht te geven aan de materialen die hiervoor nodig zijn. De beschikbaarheid van deze materialen moet een van de aspecten worden op basis waarvan keuzes in het energiesysteem worden gemaakt. Private partijen zijn daarbij niet in staat om dit materiaalvraagstuk alleen op te lossen: dit is een voorbeeld van marktfalen.

Interventies van de overheid zijn dus nodig, zowel nationaal als Europees. Op basis van de analyse in deze studie zien we daarvoor vier randvoorwaarden op het gebied van voorzieningszekerheid en het verder ontwikkelen van industriële activiteiten en een verdere inzet op de vier circulaire strategieën.

Randvoorwaarden voor voorzieningszekerheid en ontwikkeling van de industrie

De groeiende vraag naar kritieke metalen leidt tot geopolitieke afhankelijkheid van een beperkt aantal landen voor mijnbouw en raffinage en tot milieu en sociale impact in de keten. Om een klimaatneutrale energievoorziening te kunnen realiseren is het nodig om voorzieningszekerheid te borgen. Daarvoor zien wij twee randvoorwaarden:

A A. Opzetten van **permanente monitoring en continue kennisontwikkeling** om meer actuele kennis en inzichten te ontwikkelen rondom kritieke metalen en andere grondstoffen, bijvoorbeeld via een aan de overheid verbonden kennisinstituut. Daarmee kan beter worden ingespeeld op toekomstige ontwikkelingen;

B B. Vergroten van **ketentransparantie** van internationale toevoerketens, om beter inzicht te creëren in de milieu en sociale impact van kritieke metalen in de keten en daarmee te kunnen sturen op het verlagen van die impact.

Nederland heeft op dit moment nauwelijks industriële activiteiten in de toevoerketens van kritieke metalen. Wel liggen er kansen om deze voor de toekomst op te zetten, vooral op het gebied van levensduurverlenging en recycling. Om te zorgen dat de industrie hierin gaat investeren en dat businesscases mogelijk worden, zien wij twee aanvullende randvoorwaarden:

C C. Ontwikkelen van een **lange-termijn industriebeleid** als basis voor investeringsbeslissingen. In het opstellen van dat beleid is intensieve samenwerking tussen de overheid en industriële spelers essentieel, net als de relatie tussen activiteiten in Nederland en elders in Europa.

D D. Aanscherpen van **wet- en regelgeving** om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken en te stimuleren, waaronder aanscherping van productwetgeving als Ecodesign richtlijnen en versterking van de verlengde producentenverantwoordelijkheid.

Daarnaast is permanente kennisontwikkeling (randvoorwaarde A) tevens nodig voor het kunnen doen van gerichte investeringen in de industrie en daarmee het verzilveren van economische kansen.

Circulaire strategieën voor verlagen metaalvraag

Om te zorgen dat een klimaatneutrale energievoorziening mogelijk wordt, is het nodig om de hoeveelheid daarvoor benodigde kritieke metalen te verlagen. Energiebesparing is een belangrijke eerste stap, omdat daarmee de behoefte aan opwek, transport en opslagcapaciteit direct wordt verlaagd. Vervolgens zien we vier circulaire strategieën:



1. Rethink: ontwerpen van het energiesysteem vanuit materiaalperspectief, om dezelfde functies mogelijk te maken met minder opwek, transport en opslagcapaciteit. Daarbij gaat het onder meer om het sturen op sterke interconnectiviteit, het combineren van productie en gebruik op dezelfde tijd en plaats en het actief op- en afregelen van industriële processen bij een overschot of tekort aan elektriciteit.



2. Reduce: stimuleren van technologieën met minder kritieke metalen, om de metaalvraag per technologie te verminderen. Denk bijvoorbeeld aan het stimuleren van innovatie en substitutie.



3. Repair, refurbish & repurpose: verlengen van de levensduur van producten en onderdelen om de hoeveelheid nieuwe materialen te verminderen. Daarbij gaat het onder meer om het stimuleren van initiatieven voor hoogwaardig hergebruik en het verschuiven van belasting van arbeid naar vervuiling om businesscases te helpen sluiten.



4. Recycle: terugwinnen van materialen uit energieproducten om een secundaire materiaalstroom te creëren. Daarbij gaat het specifiek om het investeren in recyclingcapaciteit, waar nodig regionaal om te zorgen voor een optimale logistiek.



AANBEVELINGEN INVULLING RANDVOORWAARDEN

RANDVOORWAARDE A	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
A Opzetten van permanente monitoring en continue kennisontwikkeling rondom kritieke metalen Ontwikkelingen rondom kritieke metalen volgen elkaar snel op en zijn soms onvoorspelbaar. Permanente monitoring van risico's en verstoringen in wereldwijde toevokerketens en actuele kennis over ontwikkelingen is nodig om tijdig te kunnen bijsturen wanneer risico's te groot worden. Daarnaast is gedegen kennis van industriële processen nodig om goede investeringen te kunnen doen in innovaties en opschaling van industriële processen. Aanvullend op Europese programma's is het belangrijk om dit ook nationaal op te pakken.	Investeer structureel in Nederlandse expertise op het vlak van kritieke metalen. Borg dit binnen een kennisinstituut dat zich expliciet richt op dit onderwerp. Kijk hierbij naar succesvolle voorbeelden van dergelijke organisaties in het buitenland. Dit instituut zou ook een verbindende factor moeten zijn tussen koepels als de Metaalunie en FME, universiteiten, kennisinstellingen als TNO, Clingendael en HCSS en de Rijksoverheid, in samenwerking met R&D-afdelingen van industriële spelers.	• Rijksoverheid • Wetenschap • Bedrijfsleven
	Investeer in versnelde doorontwikkeling van technische innovaties voor energieopwekking en -opslag, met een focus op praktijkgerichte toepassing. Stuur daarbij expliciet op een laag gebruik van kritieke metalen om de toekomstbestendigheid van productie van deze opwek- en opslagtechnologieën te borgen.	• Rijksoverheid • Wetenschap • Bedrijfsleven
	Neem de benodigde kritieke metalen voor de verschillende energiescenario's mee bij de verdere ontwikkeling van deze scenario's. Denk daarbij aan vervolgttrajecten van de Integrale Infrastructuurverkenning en de doorontwikkeling van het Energie Transitie Model.	• Netbeheerders • Kennisinstituten
RANDVOORWAARDE B	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
B Vergroten van ketentransparantie van internationale toevokerketens De sociale en milieu-impacts van mijnbouw en raffinage is significant. Toch kunnen we niet zonder nieuwe metalen om een duurzaam energiesysteem te realiseren. Ketentransparantie is een belangrijke eerste stap om te kunnen sturen op reductie van deze impact.	Neem ketentransparantie van gebruikte materialen en producten mee in publieke tenders voor duurzame energietechnologieën, zoals windparken, zonnenvelden en eventuele systeemopslag. Creëer volume door te werken met een koploperaanpak, eventueel binnen Europa.	• Rijksoverheid • Provincies • Gemeenten
	Steun de ontwikkeling van effectieve en eenduidige certificeringsschema's voor materialen waar deze nog niet bestaan. Maak hierbij zo veel mogelijk gebruik van het in ontwikkeling zijnde Europese CERA certificeringssysteem. ³⁶	• EU • Rijksoverheid • Producenten
	Neem duurzaamheidsaspecten van mijnbouwactiviteiten mee in handelsverdragen tussen de EU en derde landen waar mijnbouw plaatsvindt. Hier worden al eerste stappen op gezet. Versterk de inzet hierop vanuit Nederland.	• EU

RANDVOORWAARDE C	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
C Ontwikkelen van een sterk industriebeleid om toekomstbestendige keuzes te maken Een goede en langjarige strategie op de rol van Nederland in de kritieke metaalketen is belangrijk als basis voor beleids- en investeringskeuzes. Een intensieve samenwerking tussen overheid en industrie is cruciaal in het opstellen daarvan. Immers: de overheid kan industrieën ondersteunen met de juiste infrastructuur en eventuele financiering, waar de industrie de overheid kan ondersteunen bij het realiseren van toekomstig verdienpotentieel voor Nederland en het realiseren van beleidsdoelstellingen.	Ontwikkel een gezamenlijke investeringsagenda voor een industrie rondom kritieke metalen. De locatie van Nederland is daarbij een onderscheidende factor ten opzichte van andere landen, vooral i.r.t. recycling van windturbines vanaf de Noordzee. Bij het opstellen van deze agenda is het belangrijk om Nederland in relatie te zien tot Europa. Neem mee welke ontwikkelingen al in andere Europese landen plaatsvinden. Kijk daarnaast naar de beschikbaarheid van EU-financiering voor investeringen.	• Rijksoverheid • Invest-NL • Industrie
	Neem bij het in voorraad brengen van de huidige voorraad kritieke metalen ook de metalen uit industrie-afval mee. Bouw daarbij voort op de huidige ontwikkeling van het Grondstoffen Informatie Systeem (GRIS). Voorbeelden zijn reststromen vanuit TATA Steel en Nyrstar. Ook zijn er diverse 'afvalbergen' als gevolg van vroegere reststromen uit industriële processen, waar relatief veel kritieke metalen in zitten, zoals de Slufter op de Maasvlakte.	• Invest-NL • Industrie • Kennisinstituten

RANDVOORWAARDE D	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
D Aanscherpen van wet- en regelgeving om hoogwaardig hergebruik mogelijk te maken Wet- en regelgeving bepaalt de ruimte die partijen hebben in hun bedrijfsvoering. Daarbij gaat het zowel over hun energie- en grondstoffengebruik als over het ontwerpen en fabriceren van hun producten. Aanscherping van wetgeving is nodig, zowel om te zorgen voor energiebesparing als circulaire producten.	Versterk wetgeving op energiebesparing en vergroot de handhavingscapaciteit. Een voorbeeld is de huidige wet dat energiebesparende maatregelen moeten worden genomen wanneer deze zich binnen vijf jaar terugverdienen, waar beperkt op gehandhaafd wordt.	• Rijksoverheid • Omgevingsdiensten
	Scherp Europese en nationale productstandaarden aan om efficiënt materiaalgebruik te borgen. Denk bij aanscherping aan Europese EcoDesign-richtlijnen en sectorbrede productstandaarden. Houd daarnaast bestaande standaarden kritisch tegen het licht om onnodig (verplicht) gebruik van kritieke metalen te voorkomen.	• EU • Certificeringsorganisaties

AANBEVELINGEN CIRCULAIRE STRATEGIEËN

1. RETHINK	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
 Ontwerpen energiesysteem vanuit materiaalperspectief Op dit moment worden keuzes in de energietransitie gemaakt op basis van betaalbaarheid, draagvlak en ruimtelijke inbedding. Om te komen tot daadwerkelijk toekomstbestendige keuzes, is het nodig om de benodigde kritieke metalen als vierde perspectief mee te nemen. Daardoor kan de totale opwek-, transport- en opslagcapaciteit worden beperkt.	Maak een strategische keuze voor sterke interconnectiviteit met andere landen binnen Europa. Daarmee worden vraag en aanbod gebalanceerd en wordt de hoeveelheid opslagcapaciteit beperkt. Onderzoek wat er nodig is om deze interconnectiviteit vorm te geven, mogelijk met een coalition of the willing rondom de Noordzee. Inzet op de North Sea Wind Power Hub is hier een voorbeeld van.⁵⁹	• Rijksoverheid • Landelijke netbeheerder
	Stuur op het combineren van vraag en productie van elektriciteit op dezelfde locatie en/of hetzelfde moment. Daarmee wordt de benodigde hoeveelheid opslag- en transportcapaciteit beperkt. Dit kan bijvoorbeeld door het stellen van aanvullende eisen in de SDE++-subsidieregeling voor duurzame energieproductie.	• Rijksoverheid, • Ontwikkelaars wind- en zonprojecten
	Stimuleer het gebruik van een flexibel energietarief, bijvoorbeeld op uurbasis. Daarmee wordt energiegebruik ontmoedigd bij weinig aanbod en gestimuleerd bij overproductie.	• Rijksoverheid • Energieleveranciers • Netbeheerders
	Maak mogelijk dat grote energieverbruikers, zoals industriële processen, tijdelijk op- of afregelen bij dreigende congestie op het elektriciteitsnet. Bied hiervoor eventueel financiële compensatie. Hierdoor is er minder transport- en opslagcapaciteit nodig om aan de elektriciteitsvraag te kunnen blijven voldoen. Dit kan een alternatief zijn voor netverzwaring. Kijk daarbij goed voor welke industriële toepassingen dit mogelijk is: bij sommige processen kan dit relatief eenvoudig, bij andere nauwelijks.	• Rijksoverheid • Provincies • Regionale netbeheerders
	Stuur op deelmobiliteit en andere vormen van collectief vervoer om de totale vraag naar auto's - en daarmee naar elektrische auto's en de daarvoor benodigde batterijen - te verminderen. Dit kan onder meer met fiscale maatregelen (Rijk), het versterken van hoogwaardig openbaar vervoer (Provincies, vervoerregio's) en met het terugdringen van het aantal parkeerplekken in steden (Gemeenten). ■ Zie voor verdere uitwerking de studie <i>Metaalvraag van Elektrisch Vervoer</i>⁷	• Rijksoverheid • Provincies • Vervoerregio's • Gemeenten
	Zet elektrische auto's als opslagcapaciteit, waarmee bij dreigende ondercapaciteit - als gevolg van hoge vraag of laag aanbod - extra elektriciteit beschikbaar is. Elektrische auto's leveren daarmee elektriciteit uit de batterij terug aan het net. Het eerste grootschalige experiment binnen Nederland wordt momenteel gerealiseerd in de Cartesiusdriehoek (Utrecht).	• Gemeenten • Netbeheerders • Energie- en flexibiliteitsleveranciers

2. REDUCE	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
 Stimuleren technologieën met minder kritieke metalen De hoeveelheid benodigde kritieke metalen verschilt per technologie. Door te sturen op technologieën met een lagere metaalvraag kan de totale vraag worden verminderd. Een belangrijke kanttekening is dat bij deze 'substitutie' vaak andere metalen worden gebruikt, die mede als gevolg van de verschuiving ook kritiek kunnen worden.	Investeer in alternatieve vormen van energieopslag die een significant lage vraag naar kritieke metalen hebben. Denk daarbij bijvoorbeeld aan het gebruik van ondergrondse waterreservoirs (voorbeeld: Nederlandse OPAC-concept), opslag met lucht (<i>Compressed Air Energy Storage</i>) en batterijtypes met een lagere kritieke metaalvraag (zoals flow-batterijen).	• Rijksoverheid • Provincies
	Stimuleer relevante partijen om deel te nemen in Europese werkgroepen ten behoeve van aanscherping van Europese richtlijnen, waaronder Ecodesign-richtlijnen voor batterijen. Deze aanscherping is enerzijds nodig om een gelijk speelveld te creëren rondom <i>design-for-disassembly</i>, <i>design-for-repair</i> en <i>design-for-recycling</i>. Anderzijds vereenvoudigt dit toekomstige recycling.	• Industrie • Koepel-organisaties
	Stuur in publieke tenders expliciet op circulair productontwerp en mogelijkheden voor levensduurverlenging, en niet alleen op prijs. Creëer volume door te werken met koplopers, eventueel binnen Europa. Stel waar mogelijk eisen rondom (lange) levensduur en demontage in vergunningverlening van duurzame energieprojecten.	• Rijksoverheid • Provincies • Gemeenten
	Stuur in innovatiebeleid niet alleen op technische prestaties en kosten, maar ook op opschaalbaarheid vanuit de beschikbaarheid van materialen en de milieu- en sociale impact als gevolg van productkeuzes. Toets hier op bij het toekennen van innovatiesubsidies.	• Rijksoverheid • Onderzoeksinstellingen

3. REPAIR	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
 Verlengen levensduur van producten en onderdelen Veel duurzame energietechnologieën hebben nog geen duidelijke bestemming aan het einde van hun levenscyclus. Door de levensduur te verlengen en producten in andere functies opnieuw te gebruiken, neemt het aantal benodigde nieuwe producten af.	Stimuleer initiatieven voor hoogwaardig hergebruik van duurzame energietechnologieën financieel. Dit is de komende jaren nog nodig omdat op dit moment een businesscase ontbreekt. Denk bijvoorbeeld aan het opknappen en hergebruiken van oude zonnepanelen.	• <i>Rijksoverheid</i> • <i>Industrie</i>
	Stimuleer het ontwerp van nieuwe producten en installaties met een lange levensduur, en pas fiscale en juridische spelregels aan waar nodig om dit mogelijk te maken. Denk bijvoorbeeld aan het verlengen van afschrijftermijnen.	• <i>EU</i> • <i>Rijksoverheid</i> • <i>Bedrijfsleven</i>
	Onderzoek hoe batterijen uit elektrische auto's na hun levenscyclus hergebruikt kunnen worden als systeembatterij, zowel technisch als juridisch. Daarmee wordt de levensduur significant verlengd en wordt milieu-impact als gevolg van recycling en nieuwe batterijproductie voorkomen.	• <i>Rijksoverheid</i> • <i>Provincies</i>

4. RECYCLE	AANBEVELINGEN	PARTIJEN
 Terugwinnen materialen uit energieproducten Wanneer duurzame energieproducten zoals zonnepanelen, windturbines of batterijen niet meer gebruikt kunnen worden, is het belangrijk om deze te recyclen en de kritieke materialen zo hoogwaardig mogelijk terug te winnen. De vrijkomende volumes gaan de komende jaren enorm groeien. Tijdig investeren kan leiden tot een nieuwe industriële activiteit, werkgelegenheid en een lange-termijn economisch verdienmodel.	Investeer op korte termijn reeds in nieuwe verwerkings- en recyclingcapaciteit om te anticiperen op toekomstige volumes. Binnen enkele jaren komen er aanzienlijke hoeveelheden oude batterijen en zonnepanelen op de markt. Kies daarbij de eerste jaren voor omnivore recyclingprocessen, om de diversiteit aan vrijkomende producten te kunnen verwerken.	• <i>Rijksoverheid</i> • <i>Investeerders</i>



08

BIJLAGEN

BIJLAGE I. TOTSTANDKOMING

Dit rapport is tot stand gekomen in samenwerking tussen Metabolic, Copper8, Quintel Intelligence en Polaris Sustainability. Daarbij is gebruik gemaakt van data die is geïnventariseerd door het Centrum voor Milieuwetenschappen (CML) van de Universiteit Leiden, in opdracht van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Dit onderzoek is uitgevoerd in gezamenlijke opdracht van Invest NL, de Provincie Zuid Holland, de Provincie Flevoland, Alliander, Stedin, Enpuls en Rijkswaterstaat.

Tijdens het onderzoek zijn er vijf overleggen geweest met een stuurgroep vanuit de opdrachtgevers. Hier zijn de hoofdlijnen en afbakening bepaald. Ook zijn er interviews gehouden met diverse experts om achtergrondinformatie op te halen betrokken en een perspectief te creëren op de mogelijkheden voor de Nederlandse industrie. Tot slot is het conceptrapport door een aantal experts gereviewd. Deze reviews zijn meegenomen in deze definitieve rapportage.

Stuurgroep

- Guy de Sevaux (Invest NL)
- Joey ten Cate (Provincie Zuid Holland)
- Koen Eising (Alliander)
- Dirk Bijl de Vroe (Stedin)
- Alexander Savelkoul (Enpuls)
- Anne Gerdien Prins (PBL)
- Ester van der Voet (Universiteit Leiden CML)

Interviews

- Robert van Beek (FME)
- Jan Bessebinders (VNO NCW)
- Siemen Brinksma (Biosphere Solar)
- Roderick Eggert (Critical Materials Institute)
- Sander Everstein (Tata Steel Europe)
- Dirk Heuker of Hoek (TKF)
- Bert van Haastrecht (M2i)
- John Heynen (RVO)
- Dennis Kemperman (Nyrstar)
- Arti Klaasen & Jochem de Winter (Nederlandse Onttinningsfabriek)
- Gert Jan Kramer (Universiteit Utrecht)
- Jan Jaap van Os (Exasun)
- Johan van Peperzeel (Van Peperzeel)
- Janneke Pors & Monique de Moel (Port of Rotterdam)
- Jo van de Put (Metaalunie)
- Mathijs Tas (Boldz)
- Jan Tytgat (Umicore)
- Gerard Wyfker (Metaalunie)
- Yongxiang Yang (TU Delft)

Externe review

- Ilse van Andel (Eneco)
- Ton Bastein & Elmer Rietveld (TNO)
- René Kleijn (Universiteit Leiden CML)
- Marthe van Laarhoven (Ministerie Buitenlandse Zaken)
- Jan Paul van Soest (De Gemeynst)
- Mark Spetter (Provincie Flevoland)
- Marieke Spijkerboer (Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat)
- Mattheüs van de Pol (Ministerie van Economische Zaken & Klimaat)
- Alexander van der Vooren (SER)

BIJLAGE II. EIGENSCHAPPEN KRITIEKE METALEN

Ketens van kritieke metalen zijn lang en complex. Ter illustratie licht deze bijlage de belangrijkste kenmerken van enkele kritieke metalen toe.

Voor het opstellen van deze bijlage is gebruik gemaakt van onder meer de USGS voor de productiecijfers⁵⁴ en rapportages van het IEA¹ en de Wereldbank² voor de dynamieken in de keten en een rapportage van TNO over de koperketen.⁵⁵

REE	METAAL Zeldzame aard- metalen (REE)	TOEPASSING Windturbines + EV	VOORNAAMSTE PRODUCTIE China (58%)	JAARPRODUCTIE (2020) 240.000 ton
	Winning & raffinage China is grotendeels verantwoordelijke voor de winning van de zeldzame aardmetalen waaronder neodymium, dysprosium en praseodymium. Daarnaast vindt er productie plaats in de VS, Myanmar en Australië. China controleert daarnaast het grootste deel van de raffinage (~70%) en in toenemende mate de productie van onderdelen waar deze metalen in zitten. Het Australische Lynas, de grootste Westerse producent, wordt vanuit Japan gefinancierd, onder voorwaarde dat de Japanse industrie bij schaarste voorrang krijgt voor levering.	Milieu- en sociale impact In het verleden waren er veel problemen met extreme milieuvervuiling bij productie van zeldzame aardmetalen door het gebruik van waterstoffluoride bij de elektrolyse stap van het productieproces. De laatste jaren lijkt deze vervuiling onder druk van de Chinese overheid te zijn verbeterd. Wel zijn er berichten over Chinese dwangarbeid bij productie van deze metalen.	Recycling Er wordt veel onderzoek gedaan naar recycling van REEs, onder meer vanuit de EU. Dit komt tot op heden echter nog niet voldoende van de grond omdat nieuw geproduceerde REEs ondanks de geopolitieke afhankelijkheden vooralsnog te goedkoop zijn om recycling commercieel haalbaar te maken. Bij recycling van REE magneten is productontwerp cruciaal, omdat deze magneten snel vervuild raken, wat recycling veel moeilijker maakt.	

 METAAL Lithium	TOEPASSING EV + opslag	VOORNAAMSTE PRODUCTIE Australië (55%), Chili, Argentinië	JAARPRODUCTIE (2020) 82.000 ton
Winning & raffinage Ongeveer de helft van de wereldproductie is afkomstig uit Australië, op basis van traditionele mijnbouw van het mineraal spodumeen. Van de resterende productie komt het grootste deel uit zoutmeren in Chili en Argentinië. Bijna de helft van de wereldwijde lithiumconcentraten worden naar China verscheept, waar er een chemische verbinding uit wordt gemaakt (hydroxide of carbonaat). De lithiumindustrie is financieel zwak door een lange periode van zeer lage prijzen, en heeft daardoor moeite om snel op te schalen.	Milieu- en sociale impact In Zuid Amerika vindt de productie plaats in zoutmeren, wat veel water kost en leidt tot conflicten tussen de lokale bevolking en mijnbouwbedrijven. Daarnaast leiden de verdampingsbaden waarin het lithium wordt gewonnen tot grote aantasting van het landschap. ⁵⁶ Australië kan haar productie nog aanzienlijk uitbreiden, wat ook veel water kost maar vermoedelijk tot minder conflicten met de bevolking zal leiden.	Recycling Lithium kan worden gerecycled uit bestaande Li ion batterijen, maar recyclingpercentages zijn zeer onzeker (5 – 50%). Snelle veranderingen in batterijchemie en ontwerp en concurrentie van relatief goedkope primaire productie van lithium hebben voorts nog geleid tot een afwezigheid van grootschalige lithiumrecyclinginstallaties.	

 METAAL Nikkel	TOEPASSING EV + opslag + roestvrij staal	VOORNAAMSTE PRODUCTIE Indonesië (30%), Fillipijnen	JAARPRODUCTIE (2020) 2.500.000 ton
Mijnbouw & raffinage Nikkel wordt grootschalig gewonnen en toegepast. Het is onder meer nodig voor roestvrij staal en een van de grootste bestanddelen van lithiumbatterijen. Voor batterijen is hoge kwaliteit nikkel nodig (class 1), waarvan een tekort wordt verwacht. Bij de winning van nikkel komen relatief veel waardevolle bijproducten vrij zoals kobalt, koper en PGM's. Indonesië, 's werelds grootste nikkelproducent, heeft recentelijk exportrestricties ingesteld in een poging om raffinaderijen naar Indonesië te halen en zo meer van de waardeketen te behouden.	Milieu- en sociale impact Nikkel is vooral problematisch vanwege de milieuschade bij productie en raffinage. Ter illustratie: in 2017 in de Filipijnen 23 mijnen, waar overwegend nikkel werd geproduceerd, gesloten als gevolg van hun milieuschade. ⁵⁸ De Russische stad Norilsk, de thuisbasis van een van 's werelds grootste nikkelproducenten (Norilsk Nickel), is tevens een van de meest vervuilde steden ter wereld, waar ook in 2020 nog een grote natuurramp plaatsvond na een lekkage van afvalmateriaal. ⁵⁷	Recycling Recycling van nikkel is met 17% relatief beperkt ¹⁷ , omdat het in een grote verscheidenheid aan materialen verwerkt zit, vaak als legeringselement. Legeringen zijn ingewikkeld om op gelijkwaardig niveau te recycleren omdat ze vaak moeilijk uit elkaar te houden zijn, en hele kleine variaties al grote gevolgen kunnen hebben voor de kwaliteit van een legering.	

97 Co KOBALT ENERGY METAAL Kobalt	TOEPASSING	VOORNAAMSTE PRODUCTIE	JAARPRODUCTIE (2020)
	EV + opslag	Democratische Republiek Congo (70%)	140.000 ton
Mijnbouw & raffinage Kobaltmijnbouw is voor 90% een bijproduct bij de productie van koper en nikkel, zowel in de Democratische Republiek Congo (DRC) als daarbuiten. Dit is risicovol, omdat de opschaling in productie van kobalt daarmee afhankelijk is van de opschaling in productie van deze andere metalen.	Milieu- en sociale impact Hoewel het grootste deel van de kobaltproductie uit DCR met industriële mijnbouw plaatsvindt, waarbij minimale arbeidsomstandigheden in acht worden gehouden, is het land berucht om slechte arbeidsomstandigheden, kinderarbeid en corruptie. Dat dit lastig te voorkomen is blijkt uit dat zelfs FairPhone, die alleen kobalt zonder conflict en kinderarbeid wil gebruiken, moeite heeft deze keten transparant te krijgen.⁵⁹ Ambachtelijke mijnbouw door individuen (zowel in DRC als elders) is een complex fenomeen en niet alleen maar negatief. Het geeft ook inkomsten aan lokale gemeenschappen. Vanuit de optiek van leveringszekerheid treden ambachtelijke mijnbouwers op als swing producers die helpen om extreme prijsspieken te dempen. Investerings in aanvullende productie elders is moeilijk omdat deze qua productiekosten vaak moeilijk kunnen concurreren met Afrikaanse kobalt. Grote bedrijven die direct aan consumenten leveren zijn huiverig voor de negatieve associaties met kobalt uit de DRC. Als gevolg daarvan sluiten ze soms contracten om bijvoorbeeld alleen Australische kobalt geleverd krijgen, of kiezen ze ervoor om kobaltvrije technologieën te gebruiken.	Recycling Kobalt is technisch goed recyclebaar. In de praktijk wordt dit echter nauwelijks gedaan omdat het vooralsnog niet economisch aantrekkelijk is.	

Cu 29 COPPER CU METAAL Koper	TOEPASSING	VOORNAAMSTE PRODUCTIE	JAARPRODUCTIE (2020)
	Kabels	Chili (30%), Peru	20.000.000 ton
Mijnbouw & raffinage Koper wordt voornamelijk gewonnen in Zuid Amerika, waar zo'n 40% van de mijnbouw plaatsvindt. China neemt een relatief beperkte 8% van de mijnbouw voor haar rekening, maar 39% van de raffinage. Ook de EU heeft ook een aantal kopermijnen, vooral in Polen en Scandinavië, die bij elkaar ~4.4% van de wereldproductie vormen. Daarbij bevat kopererts vaak relatief weinig koper: de ertsgraden zijn de afgelopen eeuw ruwweg gehalveerd.		Milieu- en sociale impact Als gevolg van de steeds lager wordende ertsgraden is er steeds meer energie en water nodig voor de winning van koper. Ook bevat kopererts veel zwavel, wat tot mijnbouwafval leidt met een hoog risico op zogeheten <i>acid mine drainage</i>, waarbij regenwater sterk verzuurd voordat het de natuur in stroomt.	Recycling Koper is technisch goed recyclebaar. Daarbij is het voorkomen van vermenging tussen koper en andere metalen is essentieel: enerzijds om de geleidende eigenschappen te behouden en anderzijds omdat kopervervuiling schadelijk is voor de kwaliteit van staal. Momenteel komt bijna de helft van het kopergebruik in de EU uit recycling.

Pt 78 PLATINUM PT METAAL Platina	TOEPASSING	VOORNAAMSTE PRODUCTIE	JAARPRODUCTIE (2020)
	Waterstofproductie, katalysatoren in Dieselauto's	Zuid-Afrika (70%), Rusland	170.000 ton
Mijnbouw & raffinage Platina is een van de platinum groep metalen (PGM's), die gezamenlijk gewonnen worden in platina houdend erts. Naast platina omvat deze groep ook osmium, iridium, ruthenium, rhodium en palladium. Vooral de laatste twee (Rh + Pa) worden veel toegepast in onder andere autokatalysatoren. De voornaamste winning van platina vindt plaats in Zuid Afrika (70%), gevolgd door Rusland (12%); voor enkele andere elementen liggen de verhoudingen iets anders. De productie in Zuid Afrika ligt regelmatig stil vanwege stakingen, waardoor de toeleverketen heeft leren omgaan met verstoringen en bij iedere stap buffercapaciteit aanhoudt.		Milieu- en sociale impact PGMs zijn berucht om de langdurige en gewelddadige stakingen in de Zuid Afrikaanse mijnen.	Recycling Recycling van edelmetalen in het algemeen is op een hoog niveau, vanwege de relatief zeer hoge prijzen, en doordat PGM houdende componenten zoals katalysatoren relatief eenvoudig uit producten te halen zijn tijdens het recyclingproces. . Hoogwaardig recycling is belangrijk omdat PGMs zeer moeilijk te vervangen zijn door andere metalen, al kan er wel relatief makkelijk binnen de groep worden gewisseld van metaal.

BIJLAGE III. TOELICHTING ENERGIESCENARIO'S

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van energiescenario's, die zijn opgesteld door de samenwerkende netbeheerders en diverse andere betrokkenen. Daarbij zijn de scenario's gebaseerd op vier 'realistische extremen'. Deze bijlage licht de energiescenario's en achterliggende aannames verder toe.

Deze methode licht vier zaken verder toe:

1. Scenario's Energiesysteem van de toekomst
2. Stroomstudies Zuid Holland
3. Gebruikte cijfers scenario's & stroomstudies
4. Aannames systeembatterijen

1. Scenario's *Energiesysteem van de toekomst*

Om toe te kunnen werken naar een klimaatneutraal energiesysteem hebben de samenwerkende netbeheerders energiescenario's opgesteld. Deze scenario's doen aannames voor onder meer de ontwikkeling van de industrie, de opgestelde opwek en opslagcapaciteit en de wijze van sturing op emissiereductie en duurzame energieproductie. Deze zijn uitgebreid toegelicht in het rapport *Energiesysteem van de toekomst*.³⁷ Tabel 3 geeft een korte samenvatting van deze scenario's. Figuur 29 biedt een illustratie van de energiestromen in één van de scenario's.

Tabel 3: Omschrijving van de vier scenario's voor het toekomstig energiesysteem (bron: Netbeheer Nederland)³⁵

Regionale sturing



Nadruk op sturing vanuit lokale gemeenschappen en burgers, een hoge mate van autonomie en circulariteit als speerpunt. Zonne- en windenergie op land zijn stevig gegroeid. De industrie krimpt en verduurzaamt door elektrificatie en groene waterstof. Nederland is vrijwel geheel zelfvoorzienend qua energie. Groene waterstof speelt verder een rol voor backup centrales. Groen gas uit lokale biomassa is van belang voor de piekvoorziening van warmtenetten.

Nationale sturing



In dit scenario heeft de nationale overheid een krachtige sturing richting (bijna) zelfvoorziening. Er komen grootschalige nationale projecten tot stand, met name wind op zee. Er is minder groei in warmtenetten, de nadruk ligt op elektrificatie. De omvang van de industrie blijft gelijk aan de huidige omvang en verduurzaamt door elektrificatie en groene waterstof. Groene waterstof speelt verder een rol voor back up centrales en de industrie, in de vorm van groen gas en groene waterstof.

Europese CO₂-sturing

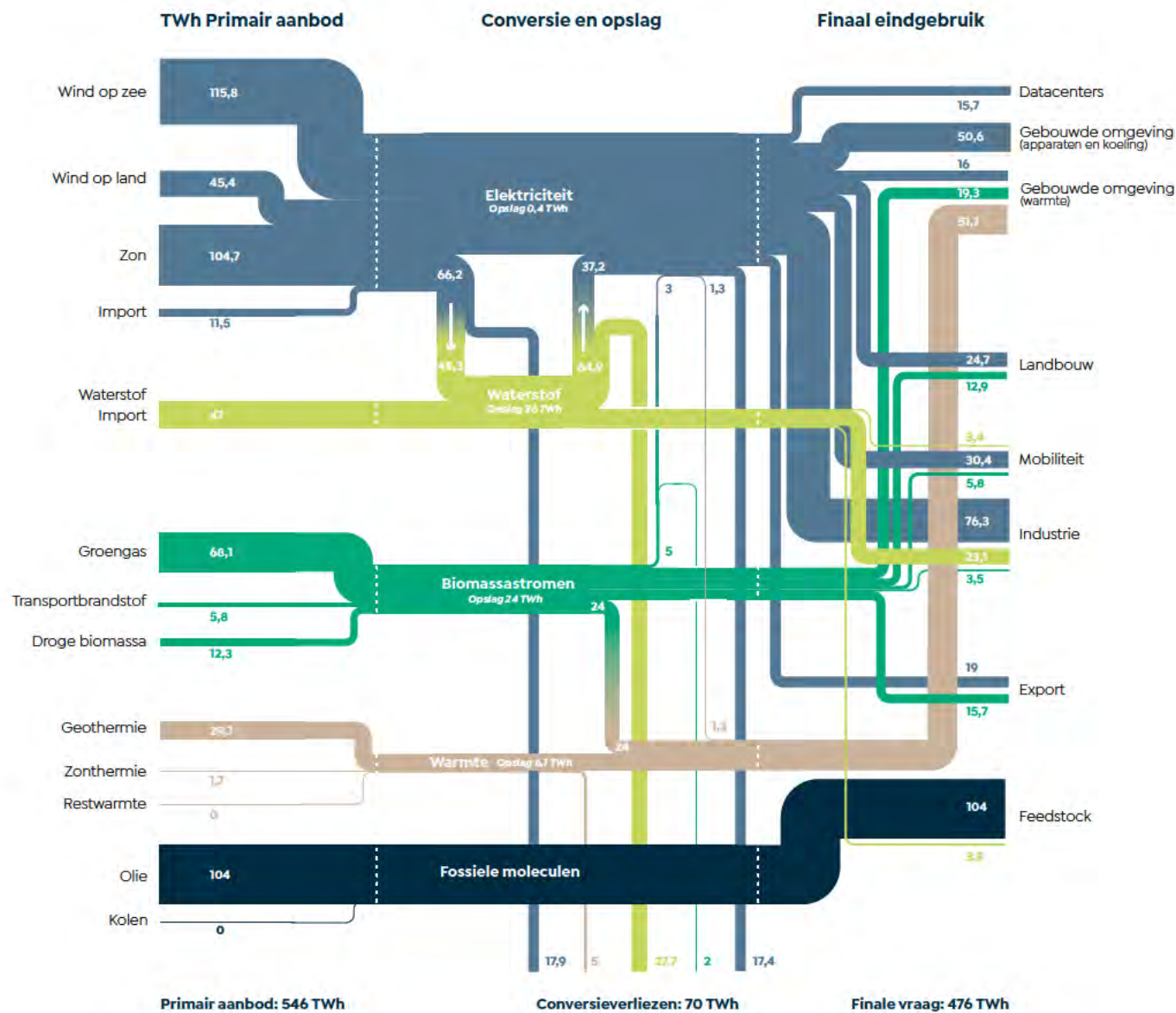


In dit scenario vindt de sturing vooral plaats door een Europese CO₂ heffing, die leidt tot een grotere nadruk op groen gas in verschillende sectoren. Er is een stevige groei van zonne- en windenergie. De industrie groeit en verduurzaamt dankzij elektrificatie en inzet van waterstof (ook deels als grondstof). CCS wordt grootschalig toegepast, onder meer voor de productie van blauwe waterstof. Hybride warmtevoorziening in gebouwen geeft dit scenario een gematigd elektriciteitspiekvraag. Er is redelijk veel import van energie. Gas houdt een rol in de wijken en andere sectoren, in de vorm van groen gas en een mix van blauwe en geïmporteerde groene waterstof.

Internationale sturing



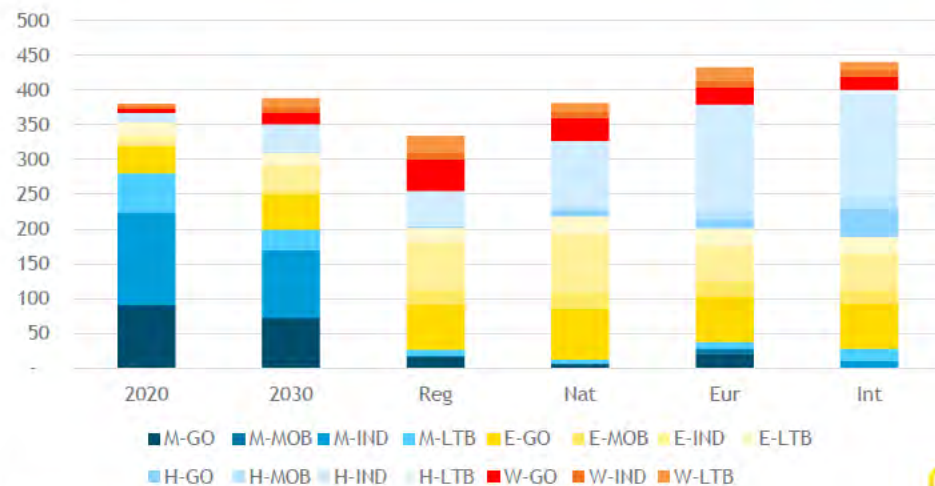
In dit scenario is de markt bepalend en zoekt Nederland internationaal naar opties met de laagste kosten. Veel waterstof wordt geïmporteerd uit landen met veel zonneschijn, waar dit makkelijker te produceren is. Er is minder inzet van groen gas, maar veel hybride warmtevoorziening in gebouwen – vooral in combinatie met waterstof. De industrie groeit dankzij elektrificatie en inzet van waterstof (ook als grondstof). Door de waterstofimport heeft Nederland minder windvermogen nodig om zelf via elektrolyse waterstof te produceren. Dit scenario heeft dus de laagste nationale elektriciteitsproductie al is die productie in 2050 stevig gegroeid ten opzichte van 2030.



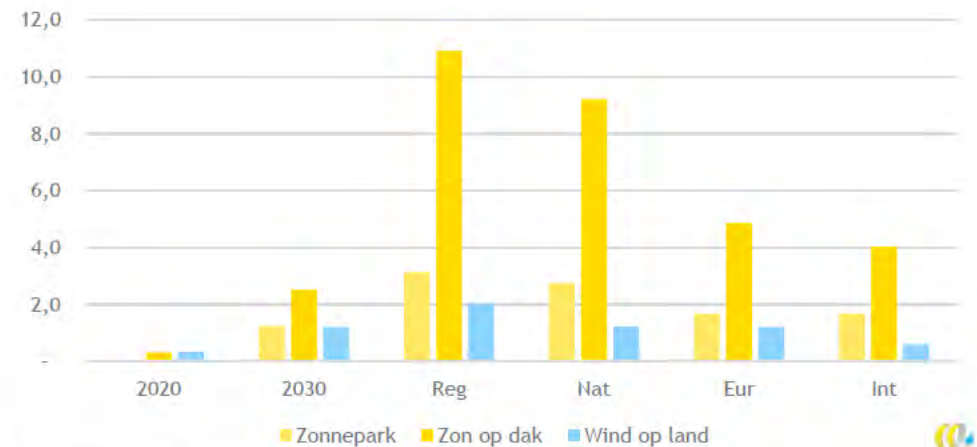
Figuur 29 Visuele weergave van de Nederlandse energiehuishouding, in het scenario nationale sturing (bron: Het energiesysteem van de toekomst).³⁷

2. Systeemstudie Zuid-Holland

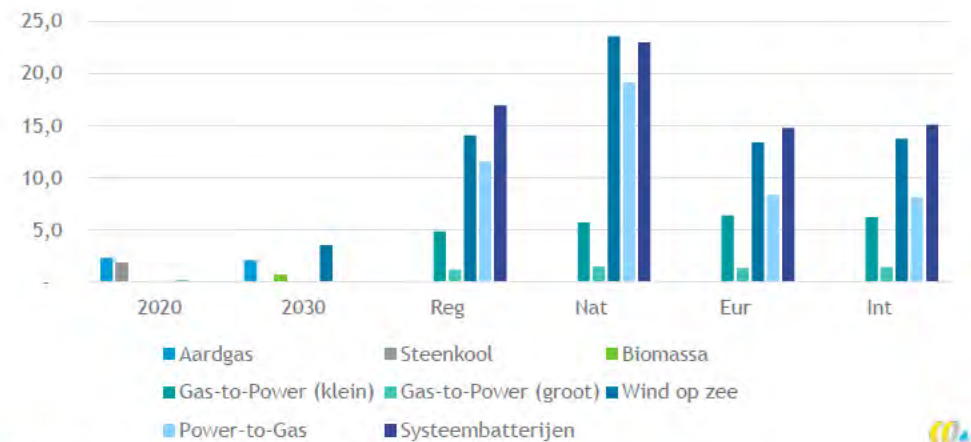
Naast de nationale scenario's zijn op regionaal niveau systeemstudies uitgevoerd, vaak per provincie. Deze systeemstudies vertalen de vier nationale scenario's naar benodigde opwek, opslag en infrastructuurcapaciteit in een specifieke regio. Ook geven deze systeemstudies een uitgebreide toelichting op de aannames en uitkomsten van de scenario's. Omdat Zuid-Holland als casus in deze studie is opgenomen, zijn onderstaand ter illustratie de energievraag (figuur 30), het vermogen aan duurzame energie opwekking (figuur 31) en vermogen aan opslag en flexcapaciteit (figuur 32) opgenomen.



Figuur 30 Energievraag op basis van het Klimaatakkoord (2030) en de vier klimaatneutrale energiescenario's (2050), uitgesplitst per sector en per energiedrager (PJ/jaar)^{III} (bron: systeemstudie Zuid-Holland)⁶⁰



Figuur 31 Duurzame energieopwekking op land op basis van het Klimaatakkoord (2030) en de vier klimaatneutrale energiescenario's (2050) (bron: systeemstudie Zuid-Holland)⁶⁰



Figuur 32 Centrales, wind op zee, power-to-gas en systeem batterijen op basis van het Klimaatakkoord (2030) en de vier klimaatneutrale energiescenario's (2050) (bron: systeemstudie Zuid-Holland)⁶⁰

^{III} Dit is warmte die aangevoerd wordt via warmtenetten. Warmte die door een warmtepomp onttrokken wordt van de omgeving of de bodem, is in deze weergave niet meegenomen.

3. Gebruikte cijfers scenario's & systeemstudies

Hoofdstukken 4 en 5 tonen de metaalvraag en mogelijke reductie van de metaalvraag in de verschillende energiescenario's. Daarvoor zijn de cijfers uit de vier energiescenario's uit Het energiesysteem van de toekomst³⁷ en de regionale systeemstudie voor Zuid Holland⁶⁰ gebruikt, die zijn toegelicht in II.1 en II.2. Deze cijfers zijn samengevat in onderstaande tabellen. Twee zaken ter toelichting:

- De cijfers voor Nederlandse infrastructuur tonen de benodigde aanvullende infrastructuur. Omdat deze alleen voor 2050 is bepaald, is voor 2030 een interpolatie gemaakt op basis van 2020 en 2050. Omdat voor Zuid Holland geen data gegeven worden over de hoeveelheid elektriciteitskabels, zijn die in de berekeningen voor Zuid Holland niet meegenomen.
- De cijfers voor Zuid Holland geven het aantal laag , midden en hoogspanningstations weer in de benodigde ruimte. Op basis van kentallen over energie infrastructuur zijn deze omgerekend naar MVA en vervolgens naar het aantal stations.⁶¹

Tabel 4: opgestelde vermogens en aantallen voor Nederland in de verschillende scenario's.

NEDERLAND							
Onderwerp	Onderdeel	Eenheid	2030	2050 – REG	2050 – NAT	2050 – EUR	2050 – INT
Opwek	Wind op zee	GW	13	31	52	30	28
Opwek	Wind op land	GW	6	20	20	10	10
Opwek	Zon op dak	GW	9	59	49	24	18
Opwek	Zon op veld	GW	18	66	58	35	35
Opwek	Zonthermie	GW	1	15	7	6	5
Flexibiliteit	Systeem batterijen	GWh	12	400	400	200	200
Flexibiliteit	Elektrolyzers (P2G)	GW	0	42	51	19	16
Flexibiliteit	Elektriciteitscentrales	GW	24	33	35	37	35
Infrastructuur	HS MS, HS TS stations	#	11700	42600	40500	29400	27300
Infrastructuur	MS, MS MS, TS MS stations	#	35000	117000	114000	99000	90000
Infrastructuur	MS LS station	#	2100	7200	7140	5940	4500
Infrastructuur	220/380 kV	km	200	400	700	500	450
Infrastructuur	110/150 kV	km	300	900	1090	880	960
Infrastructuur	MS kabel	km	13100	44400	44100	35200	33600
Infrastructuur	LS kabel	km	11000	33800	38800	32000	27900
EV	Batterijen	GWh	117	540	444	396	300

Tabel 5: opgestelde vermogens en aantallen voor Zuid-Holland in de verschillende scenario's.

ZUID-HOLLAND							
Onderwerp	Onderdeel	Eenheid	2030	2050 – REG	2050 – NAT	2050 – EUR	2050 – INT
Opwek	Wind op zee (aanlanding in Zuid Holland)	GW	3,5	14,1	23,6	13,4	13,7
Opwek	Wind op land	GW	1,2	2	1,2	1,2	0,6
Opwek	Zon op dak	GW	2,5	10,9	9,2	4,9	4
Opwek	Zon op veld	GW	1,2	3,1	2,7	1,7	1,7
Opwek	Zonthermie	GW	0,0	0	0	0	0
Flexibiliteit	Systeembatterijen	GWh	0,0	16,9	23	14,8	15,1
Flexibiliteit	Elektrolyzers (P2G)	GW	0,0	11,6	19,2	8,4	8,1
Flexibiliteit	Elektriciteitscentrales	GW	0,0	6	7,2	7,7	7,7
Infrastructuur	HV station	#	300	4500	6400	5400	6200
Infrastructuur	MV station	#	850	2950	3450	2550	2100
Infrastructuur	LV station	#	250	1000	1100	1000	1000
EV	Batterijen	GWh	23	91	86	44	63

4. Aannames systeembatterijen

Een belangrijk onderdeel van de metaalvraag komt voort uit systeembatterijen. Hieronder vallen alle batterijen die beschikbaar zijn voor balanshandhaving: thuisbatterijen, buurtbatterijen en een deel van de batterijen van elektrische auto's³⁷. Daarbij is niet gedefinieerd welke deel van de batterijen van elektrische auto's beschikbaar is voor systeembatterijen. Om een beeld te kunnen vormen van de benodigde aanvullende systeembatterijen is de aanname dat 10% van de autobatterijen beschikbaar is voor systeemopslag. Hier moet echter meer onderzoek naar gedaan worden. De totale hoeveelheid autobatterijen is gebaseerd op de scenario's in het Energietransitiemodel die zijn gebruikt voor "Het energiesysteem van de toekomst".

Voor de ontwikkeling van marktaandeel van batterijtechnologie in het basisscenario is uitgegaan van data van IEA (2021).¹

BIJLAGE IV. OVERZICHT ENERGIETECHNOLOGIEËN

Er zijn verschillende duurzame energietechnologieën, ieder met hun eigen metaalvraag en hun eigen kenmerken. Deze bijlage licht de belangrijkste technologieën en innovaties toe voor zonnepanelen en windturbines, energieopslag en kabels.

LEGENDA

Technology Readiness Level (TRL)

- n ontw kke ng
- potent e voor toepas ng n het energ esysteem
- grootscha g toepasbaar n het energ esysteem

Toepasbaarheid

- toepasbaar
- ✗ n et toepasbaar
- ★ wordt bestudeerd
- ↑ n opkomst
- ? onbekend

Opwekking

De belangrijkste technologieën voor de opwekking van duurzame elektriciteit zijn windturbines en zonnepanelen. Beide hebben verschillende subtechnologieën, die zijn toegelicht in onderstaande tabellen.

Wind

Windturbines kunnen worden geplaatst op land (onshore) of op zee (offshore). Voordelen van wind op land zijn een lagere metaalvraag voor de infrastructuur en eenvoudiger onderhoud. Voordelen van wind op zee zijn de vaak hogere windsnelheden en grotere hoeveelheid beschikbare ruimte. Bij wind op zee is de vraag naar koper hoger, omdat er langere kabels gelegd moeten worden.

TECHNOLOGIE	TRL	METALEN	VOORDELEN	NADELEN
Doubly Fed Induction (DFIG) (gearbox)	●●●	Boron Chroom Koper Dysprosium Mangaan Molybdenum Neodymium Nickel	• Weinig zeldzame aardmetalen nodig • Goedkoop • Lichtgewicht	• Hoge slijtage, veel onderhoud. Daardoor minder geschikt voor wind op zee.
Permanent Magnet Synchronous (PMSG) (gearbox + direct drive)	●●●	Boron Chroom Koper Dysprosium Mangaan Molybdenum Neodymium Nickel Praseodymium Terbium	• Hogere efficiëntie • Direct drive variant heeft weinig slijtage en onderhoud, en daarmee erg geschikt voor offshore.	• Grote vraag naar zeldzame aardmetalen • Direct drive variant heeft een erg grote vraag naar zeldzame aardmetalen, zoals neodymium.
Electrically Excited Synchronous (EESG) (direct drive)	●●○	Boron Chroom Koper Dysprosium Mangaan Molybdenum Neodymium Nickel Praseodymium Terbium	• Grote metaalvraag, maar minder zeldzame aardmetalen	• Marktaandeel nog erg laag. • Niet geschikt voor wind op zee.

Windturbines kennen daarbij twee 'hoofdstromingen' qua techniek: bij gearbox windturbines wordt een kleine dynamo aangedreven via een versnellingsbak; bij direct drive is de generator direct gekoppeld aan de rotor. Beide soorten gebruiken permanente magneten met daarin

zeldzame aardmetalen, waarbij de direct drive types veel meer van deze zeldzame aardmetalen gebruiken. Daarnaast zijn er verschillende types generatoren, die ook bijdragen aan de kritieke metaalvraag.^{1, 62}

Zon

Zonnepanelen kunnen worden geplaatst op daken (zon op dak) of op de grond (zon op veld). Een voordeel van zon op dak is de combinatie van opwek en gebruik op één locatie, wat de netbelasting verlaagt. Een nadeel van zon op veld is dat dit ten koste kan gaan van bijvoorbeeld landbouw of biodiversiteit. Tegelijkertijd is het met zon op veld mogelijk om sneller opwekcapaciteit te installeren.

Het overgrote deel van de geplaatste zonnepanelen zijn c Si panelen. Dit geldt niet alleen in Nederland, maar wereldwijd. De ontwikkeling van zonnepanelen gaat echter enorm hard, waarbij voor de toekomst ook andere types zoals CdTe, CIGS en perovskietpanelen een rol kunnen gaan spelen.

TECHNOLOGIE	TRL	METALEN	VOORDELEN	NADELEN
c Si	●●●	Silicium Zilver (Lood) (Indium)	- Meest efficiënte commerciële technologie - Ontwikkeling lift mee op ontwikkeling elektronica, omdat dezelfde materialen nodig zijn	- Ingewikkeld productieproces - Zeer puur silicium nodig
a Si	●●○	Silicium Zilver	- Dun - Milieuvriendelijke productie, zonder cadmium of lood	Lage efficiëntie
CdTe	●●●	Cadmium Tellurium	- CO₂ en waterarme productie - Korte terugverdientijd - Goede prestaties bij hoge temperaturen en weinig licht	- Bevat cadmium (giftig) - Bevat kritieke metalen (tellurium)
CIGS	●●●	Koper Indium Gallium Selenium (Cadmium/ Lead)	- Dun en buigzaam - Meest efficiënte zonnepaneel op dun folie - Minder (of geen) cadmium t.o.v. CdTe	Modules hebben nog geen schaalvoordelen
Perovskietpanelen	●○○	Mineraal met metalen (CaTiO ₃)	- Potentieel zeer goedkoop - Te combineren met Si panelen voor hogere efficiëntie	- Gevoelig voor luchtvochtigheid - Panelen (vooralsnog) klein - Veel lood nodig bij productie (bij huidige techniek)

OPSLAG

Er zijn verschillende manieren om energie op te slaan, afhankelijk van het benodigde opslagvolume, de opslagtermijn en de benodigde laad- en ontlad snelheid. Daarbij kunnen niet alle vormen van energieopslag elkaar vervangen, omdat sommige technieken bijvoorbeeld niet in een auto geplaatst kunnen worden of alleen kortstondig

energie kunnen opslaan. Voor de informatie in deze tabel zijn diverse bronnen gebruikt.^{63 70}

Naast de technologische aspecten zijn ook de kosten van de opslagtechnologie over de hele levensduur een belangrijke factor in de beslissing voor deze infrastructuur. Naar verwachting zijn in 2030 lithiumbatterijen,

vliegwielen, gepompt water (PHES), luchtdruk (CAES) en waterstof internationaal de goedkoopste technologieën, afhankelijk van de toepassing.⁶³ Omdat Nederland echter een ongunstige geografie heeft voor gepompt water (PHES), zullen batterijen, luchtdruk en waterstof hier een grotere rol spelen.

TECHNOLOGIE	TRL	TOEPASSINGEN				METALEN	VOORDELEN	NADELEN
		SEC	DAG	SEIZ	EV			
Lithium-ionbatterijen								
LCO (Lithium Cobalt oxide)	●●●			×		Kobalt Lithium	• Verst ontwikkelde batterij in zijn soort • Breed inzetbaar • Hoge energiedichtheid	• Risico op verbranding • Afhankelijk van kobalt
LFP (Lithium Iron Phosphate)	●●●			×	↑	Lithium IJzer Fosfaat	• Minder afhankelijk van kritieke metalen (t.o.v. andere Li batterijen) • Gaat veel cycli mee • Relatief veilig	• Lage energiedichtheid • Minder ver ontwikkeld (t.o.v. andere Li batterijen)
NMC (Nickel Manganese Cadmium oxide)	●●●			×		Lithium Nikkel Mangaan Kobalt (minder dan LCO)	• Bevat minder kobalt dan LCO • Verhouding tussen metalen is te variëren • Hoge energiedichtheid • Wordt niet snel warm • Gaat veel cycli mee, dus goed geschikt voor EV	• Afhankelijk van kobalt
NCA (Nickel Manganese Cadmium Oxide)	●●●			×		Lithium Nikkel Kobalt Aluminium	• Hoge energiedichtheid • Redelijk hoog vermogen • Gaat veel cycli mee	• Veiligheidsrisico's (ontbranding) • Relatief hoge kosten

TECHNOLOGIE	TRL	TOEPASSINGEN				METALEN	VOORDELEN	NADELEN
		SEC	DAG	SEIZ	EV			
LMO (Manganeze Oxide)	●●●			×		Lithium Mangaan	• Snel op en ontladen • Relatief goedkoop • Stabiel	• Lagere energiedichtheid dan LCO • Te combineren met NMC batterijen
LTO (Lithium Titatnate)	●●●	↑	↑	×		Lithium Titanium	• Zeer veilig • Snel opladen	• Lagere energiedichtheid (t.o.v. andere Li ion batterijen) • Laag voltage
LiPo (Polymeer)	●●●	×	×	×		Lithium Andere metalen	• Hoge energiedichtheid • Veiliger dan andere lithiumbatterijen	• Relatief duur (t.o.v. andere Li ion batterijen)
Solid state (SSB)	●○○	?		×		Lithium Andere metalen, afhankelijk van ontwerp	• Hoge energiedichtheid • Veilig • Snel oplaadbaar • Lange levensduur	• Ontwikkeling loopt ver achter (t.o.v. conventionele Li ionbatterijen)
Andere chemische batterijen								
Li sulfur	●○○			×		Lithium Zwavel	• Zeer hoge energiedichtheid	• Vooralsnog korte levensduur
Li air	●○○			×		Lithium (Titanium) Andere metalen, afhankelijk van het ontwerp	• Potentieel hoge energiedichtheid	• Nog niet toepasbaar • Nog niet stabiel • Lucht moet continu worden gezuiverd
Loodzuur batterij	●●●			×	× ^v	Lood	• Lage aanschafprijs • Groot vermogen t.o.v. gewicht	• Zeer lage energiedichtheid • Toxisch (lood) • Risico op explosie, vanwege knalgas

^{iv} Loodzuurbatterijen worden in auto's gebruikt als startbatterij, maar kunnen niet de auto zelfstandig voortbewegen.

TECHNOLOGIE	TRL	TOEPASSINGEN				METALEN	VOORDELEN	NADELEN
		SEC	DAG	SEIZ	EV			
Gesmolten zoutbatterijen								
Sodium sulfur	●○○			×	★	Natrium Zwavel	• Hoge energiedichtheid • Hoge efficiëntie • Lage zelfontlading • Lange levensduur • Goedkope materialen • Zeer geschikt voor stationaire energie opslag	• Hoge productiekosten • Recycle opties nodig voor natrium
Sodium ion	●●○	?	★	×	★	Natrium	• Potentieel lagere kosten dan Li ion • Afhankelijk van minder kritieke metalen dan Li ion	• Lage energiedichtheid • Korte levensduur • Vooralsnog te duur om een realistische optie te zijn als systeem of autobatterij
Flow-batterijen								
Vanadium	●●○			×	×	Vanadium	• Kan lang ontladen blijven • Goed herlaadbaar • Veilig • Kan diep ontladen worden • Lage kosten • Modulair uitbreidbaar • Goed alternatief voor Li ion bij intensief gebruik	• Alleen stationaire toepassingen (zeer lage energiedichtheid)
Zinc Bromide	●●○	★		×	×	Zinc Bromide	• Kan diep ontladen worden • Gaat lang mee • Modulair uitbreidbaar	• Alleen stationaire toepassingen (zeer lage energiedichtheid) • Moet regelmatig (elke paar dagen) ontladen worden • Laag vermogen

TECHNOLOGIE	TRL	TOEPASSINGEN				METALEN	VOORDELEN	NADELEN
		SEC	DAG	SEIZ	EV			
Mechanische opslag								
Pumped hydro (PHES)	●●●	×			×	Staal voor constructie	• Hoge opslagcapaciteit • Lage kosten t.o.v. capaciteit • Weinig kritieke metalen nodig • Geschikt voor langdurige opslag	• Verstoort de natuur, omwonenden en het waterpeil • Ongunstige geografie in Nederland, wel potentie voor ondergrondse reservoirs (O PAC)
Luchtdruk (CAES), grote schaal	●●○	×			×	Staal voor constructie	• Hoge opslagcapaciteit • Lage kosten t.o.v. capaciteit • Waarschijnlijk geschikte geografie in Nederland (zoutcavernes + gasvelden) • Geschikt voor langdurige opslag • Modulair uitbreidbaar	• Maatwerk nodig per installatie • Lage efficiëntie
Vliegwiel (FES)	●●○		×	×	×	Composiet	• Hoog vermogen • Hoge efficiëntie • Overal inzetbaar	• Alleen geschikt voor zeer korte tijdsduur
Zwaartekrachtssystemen	●○○	?			×	Staal voor constructie	• Potentieel hoge efficiëntie • Weinig kritieke metalen nodig	• Lage opslagcapaciteit
Brandstof								
Waterstof (H2)	●●●	×				Platina Iridium Nickel Cobalt	• Geschikt voor langdurige opslag • Breed inzetbaar • Geschikt voor industrie • Geschikte geografie in Nederland voor ondergrondse opslag	• Lage efficiëntie • Afhankelijk van de toepassing, dure katalysator nodig
Overig								
Cryogene opslag (CES)	●●○	×			×	Staal voor constructie	• Hoge capaciteit • Lage investeringskosten	• Lage efficiëntie

KABELS

Bij stroomkabels kan er worden gekozen tussen koperen en aluminium kabels, elk met eigen voor- en nadelen.

TECHNOLOGIE	TRL	METALEN	VOORDELEN	NADELEN
Koperen kabels	●●●	Koper	• Lage weerstand	• Duur • Zwaar • Schaarser (t.o.v. aluminium)
Aluminium kabels	●●●	Aluminium	• Goedkoop • Lichtgewicht • Minder schaars (t.o.v. koper)	• Hogere weerstand (x1.6)

BIJLAGE V. BRONVERMELDING

1. **International Energy Agency** (2021) The role of critical minerals in clean energy transitions
2. **World Bank** (2020) Minerals for Climate Action
3. **Europese Commissie, Joint Research Centre** (2020) Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system
4. **TNO** (2015) Materialen in de Nederlandse economie - Een kwetsbaarheidsanalyse
5. **Metabolic, Universiteit Leiden & Copper8** (2018) Metaalvraag van de Nederlandse energietransitie
6. **TNO** (2018) Global Energy Transition and Metal Demand: an introduction and circular economy perspective
7. **Metabolic, Universiteit Leiden & Copper8** (2019) Metaalvraag van elektrisch vervoer
8. **TNO** (2021) Op weg naar een groene toekomst, deel 1
9. **HCSS** (2020) Securing critical materials for critical sectors
10. **SOMO** (2020) The Battery Paradox
11. **Action Aid & SOMO** (2018) Human rights in the wind turbine supply chain
12. **Ellen MacArthur Foundation** (2019) Completing the picture: how the circular economy tackles climate change
13. **Rijksoverheid** (2016) Rijksbrede Programma Circulaire Economie
14. **Europese Commissie** (2020) Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability
15. **Europese Commissie** (2020) A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe
16. **Europese Commissie** (2020) List of Critical Raw Materials
17. **TNO** (2021) Kritikaliteit van grondstoffen: ontwikkeling en operationalisatie
18. **Rijksoverheid** (2018) Transitie-agenda Circulaire Maakindustrie
19. **Rijksoverheid** (2020) Nationale Batterijenstrategie
20. **ECHT** (2021) The ideation process focused on circular strategies in the wind industry
21. **CE Delft** (2021) Kennisnotitie Zonnepanelen Circulair
22. **Materials Innovation Institute** (2021) Kansen en uitdagingen voor circulaire Zon PV, met focus op materiaal en technologie
23. **Europese Commissie** (2018) Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU: a Foresight Study
24. **Institute for the Analysis of Global Security** (2010) - China's Rare Earth Elements Industry: What Can The West Learn?
25. **Merics** (2016) Made in China 2025: The making of a high-tech superpower and consequences for industrial countries
26. **White House** (2020) Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries
27. **White House** (2021) Building resilient supply chains, revitalizing American manufacturing and fostering broad-based growth
28. **Rijksoverheid** (2019) Nederland-China: een nieuwe balans
29. **National Research Council** (2008) Managing Materials for a Twenty-first Century Military
30. **Nuss, Graedel, Alonso & Carroll** (2016) Mapping supply chain risk by network analysis of product platforms. Sustainable Materials and Technologies, 10, 14-22.
31. **Graedel, T.** (2010), op basis van Hageluku & Meskers (2010) Complex Life Cycles of Precious and Special Metals. Strüngmann Forum Report, Linkages of Sustainability
32. **New York Times** (16 juli 2020) Southern Iraq's Toxic Twilight: Burning Gas and Poisoning the Air - online beschikbaar op <https://www.nytimes.com/2020/07/16/world/middleeast/iraq-gas-flaring-cancer-environment.html>
33. **Trouw** (4 juni 2020) Congolezen betalen de prijs voor onze elektrische auto's - online beschikbaar op <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-natuur/congolezen-betalen-de-prijs-voor-onze-elektrische-auto-s>
34. **Financieel Dagblad** (7 april 2021) Nederlandse zonnepanelen komen van Chinese bedrijven die worden verdacht van dwangarbeid - online beschikbaar op <https://fd.nl/ondernemen/1378683/nederlandse-zonnepanelen-komen-van-chinese-bedrijven-die-worden-verdacht-van-dwangarbeid>
35. **Volkskrant** (8 april 2021) Linkse verkiezingszege in Groenland zet omstreken mijnbouw op losse schroeven - online beschikbaar op <https://www.volkskrant.nl/nieuws-achtergrond/linkse-verkiezingszege-in-groenland-zet-omstreken-mijnbouw-op-losse-schroeven>
36. **CERA** (2021) CERA4in1.org
37. **Netbeheer Nederland** (2021) Het Energiesysteem van de Toekomst: Integrale Infrastructuurverkenning 2030 - 2050

38. Althaf, S., Babbitt, C. W., & Chen, R. (2020). The evolution of consumer electronic waste in the United States. *Journal of Industrial Ecology*.
39. CBS (2020) Hoeveel personenautos zijn er in Nederland?
40. PBL (2015) Effecten van autodelen op mobiliteit en CO₂ uitstoot
41. ING (2018) Car sharing unlocked
42. Rijksoverheid (2018) Green Deal Autodelen II
43. NOS (7 juni 2021) Bijna een op de vijf fabrieken in Nederland heeft toeleveringsproblemen - online beschikbaar via <https://nos.nl/artikel/2383973-bijna-een-op-vijf-fabrieken-nederland-heeft-toeleveringsproblemen>
44. CBS (2018) Het Industriële landschap van Nederland
45. NRC (2021) Rusland zegt belastingverdrag met Nederland op - online beschikbaar via <https://www.nrc.nl/nieuws/2021/05/19/rusland-zegt-belastingverdrag-met-nederland-op-a4044242>
46. Ziegler & Trancik (2021) Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline. *Energy & Environmental Sciences*
47. CIC energiGUNE (2021) Overzicht van Europese Gigafactories. Laatste update op 07-04-2021
48. Solar Magazine (2019) Exasun <https://solarmagazine.nl/industry-register/i106/exasun>
49. VDL (2021) Nieuwe fabriek in Belgische Roeselare vdlbuscoach.com/nl/news/archief/nieuwe-fabriek-in-belgische-roeselare-vdl-bus-coach-zet-doelstelling-aiming-for-zero-kracht-bij
50. OICA (2021) 2019 production statistics <https://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/>
51. ResourceTrade.Earth (2021) <https://resourcetrade.earth/?year=2019&exporter=528&category=39&units=value&autozoom=1>
52. Ex'tax (2021) Deltaplan Belastingen voor een Circulaire en Sociale Economie
53. North Sea Wind Power Hub Program (2021) Towards the first hub-and-spoke project: progress of the North Sea Wind Power Hub Consortium
54. US Geological Survey (2021) Mineral Commodity Summaries 2020
55. TNO (2020) Koper: winning, verwerking en recycling - feiten en cijfers
56. National Geographic (februari 2019) This metal is powering today's technology—at what price?
57. The Guardian (24 augustus 2017) Nickel mining: the hidden environmental cost of electric cars - online beschikbaar op <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/aug/24/nickel-mining-hidden-environmental-cost-electric-cars-batteries>
58. Reuters (2 februari 2017) Philipines to shut half of mines, mostly nickel, in environmental clampdown
59. Fairphone (2017) Smartphone Material Profiles: Opportunities for improvement in ten supply chains
60. Provincie Zuid-Holland (2021) Systeemstudie energie-infrastructuur Zuid-Holland 2020-2030-2050
61. Netbeheer Nederland (2019) Basisinformatie over energie-infrastructuur
62. Osmanbasic, E. (2020) The Future of Wind Turbines: Comparing Direct Drive and Gearbox
63. Schmidt, Melchior, Hawkes & Staffell (2019) Projecting the Future Levelized Cost of Electricity Storage Technologies *Joule*, 3(1), 81–100
64. Das, Bass, Kothapalli, Mahmoud & Habibi (2018) Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1205–1230.
65. Zubi, Dufo-López, Carvalho & Pasaoglu (2018) The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 292–308.
66. DNV (2019) Technology Outlook 2030. Are solid-state batteries the holy grail for 2030?
67. Qirion (2020) Zoutcavernes en gasvelden voor duurzame energieopslag?
68. Fu, Zheng, Wang, Sun & Wang (2017) Flow-Rate Optimization and Economic Analysis of Vanadium Redox Flow Batteries in a Load-Shifting Application. *Journal of Energy Engineering*, 143(6), 04017064.
69. Ong, S. (2020) The Slog Continues for Lithium-Air Batteries. *IEEE Spectrum*
70. Guarnieri, Mattavelli, Petrone & Spagnuolo (2016) Vanadium Redox Flow Batteries: Potentials and Challenges of an Emerging Storage Technology. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 10(4), 20–31

