

OP WEG NAAR EEN GROENE TOEKOMST

**DEEL 1: HOE GRONDSTOFFEN
SCHAARSTE ONZE AMBITIES
VOOR GROENE WATERSTOF EN
DE ENERGIETRANSITIE ALS
GEHEEL KAN BELEMMEREN**

TNO innovation
for life

OP WEG NAAR EEN GROENE TOEKOMST:

DEEL 1: HOE GRONDSTOFFEN SCHAARSTE ONZE AMBITIES VOOR GROENE WATERSTOF EN DE ENERGIETRANSITIE ALS GEHEEL KAN BELEMMEREN

Als je besluit een huis te bouwen, weet je dat je daarvoor grondstoffen nodig zult hebben. Je weet ook dat die grondstoffen waarschijnlijk ruim voorhanden zullen zijn. Wanneer je een volledig nieuw duurzaam energiesysteem gaat bouwen, heb je vanzelfsprekend ook snel toenemende voorraden nodig. Met de mogelijke leveringsrisico's van sommige 'exotische' (essentiële) grondstoffen die nodig zijn voor dit duurzame energiesysteem is echter nauwelijks rekening gehouden bij het opstellen van de energieplannen voor de toekomst. In dit artikel richten we ons met name op de productie van groene waterstof. Als we de Europese waterstofplannen voor 2050 willen realiseren verwachten we een tekort aan het metaal iridium, een essentieel materiaal voor de productie van waterstof. Aangezien er ook voor andere toepassingen veel vraag is naar iridium, dreigt de hele energietransitie vertraging op te lopen - of zelfs helemaal tot stilstand te komen. Het is tijd dat we actie ondernemen. Alle goede plannen beginnen echter met een overzicht van potentiële knelpunten.

DE ENERGIETRANSITIE ZAL GROTE HOEVEELHEDEN ESSENTIËLE GRONDSTOFFEN VEREISEN

Zoals vermeld in het Klimaatakkoord van Parijs staat de EU voor de uitdaging de CO₂-uitstoot te beperken.¹ Om dat doel te bereiken, zal tegen 2050 een grote schaalvergroting nodig zijn van alle duurzame energievoorzieningen. Het gaat dan bijvoorbeeld om windturbines, fotonvoltaïsche cellen, batterijen en elektrolytische cellen voor de productie van groene waterstof. Voor de bouw daarvan zijn grote hoeveelheden metalen en mineralen nodig, waarvan sommige (bv. platina, iridium, kobalt) als "essentieel" worden beschouwd.

Grondstoffen worden als "essentieel" beschouwd als zij van essentieel belang zijn voor de economie van de EU en tegelijk een relatief hoog risico op onderbreking van de voorziening met zich meebrengen.² Volgens de Europese Commissie (EC) zijn er een paar oorzaken van een kwetsbare voorziening. In de eerste plaats als het materiaal slechts uit enkele landen kan worden gehaald (vooral wanneer deze landen onstabiele of niet-coöperatieve regimes hebben). Of als bepaalde producenten een monopolie hebben: dit maakt de bevoorradingsketen onbetrouwbaar in geval van lokale conflicten of als er handelsbeperkingen worden opgelegd. Ten derde, als er geen relevante substituten voor de grondstof beschikbaar zijn of als de grondstof momenteel niet wordt gerecycled.

¹ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

² Definitie van "kritisch" zoals gebruikt door de Europese Commissie. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2d43b7e2-66ac-11e7-b2f2-01aa75ed71a1>

De beschikbaarheid van essentiële grondstoffen (oftewel CRM: critical raw materials) is onlangs³ onderwerp van discussie geweest nu de COVID19-pandemie de kwetsbaarheid van de toeleveringsketens aan het licht heeft gebracht. Met name de rol van China, een dominante bron van essentiële grondstoffen voor de EU,⁴ is aan kritiek onderhevig. Uit het verleden blijkt dat de Chinese regering haar strategische positie gebruikt door haar greep op de reserves van essentiële grondstoffen te versterken.^{5,6} Ook andere landen die essentiële grondstoffen produceren, oefenen hun invloed uit op de bevoorradingsketens via handelsbelemmeringen.⁷

Al geruime tijd wordt erkend dat er essentiële grondstoffen nodig zijn voor de energietransitie. En dat die aanvoer niet gegarandeerd is. De eerste risicoanalyse van de EC dateert van 2010⁸ en recentelijk zijn nog verschillende onderzoeken verschenen waarin de vraag naar materialen voor energietransitie-technologieën zoals batterijen, zonnecellen en windturbines werd onderzocht.^{9,10,11,12,13} **Deze onderzoeken tonen aan dat er aanzienlijke uitdagingen in het verschiet liggen als het gaat om de tijdige levering van materialen voor de opwekking en opslag van hernieuwbare energie.** De materiaalbehoefte voor de productie van groene waterstof, die naar verwachting een belangrijke rol zal spelen in de energietransitie, is echter een uiterst relevante, maar nog over het hoofd geziene kwestie.

HET HUIDIGE AANBOD VOLDOET NIET AAN DE VRAAG NAAR GROENE WATERSTOF IN DE EU

Waterstof is vanwege zijn vele toepassingen een cruciaal element in het koolstofvrij maken van diverse EU-sectoren: het kan dienen als brandstof voor bijvoorbeeld auto's, als grondstof voor de industrie om andere producten te maken en als verwarmingsbron voor industriële processen en gebouwen.

In een duurzaam energiesysteem heeft waterstof twee belangrijke functies. Ten eerste die van "buffer": waterstof kan worden gemaakt als er een overschot is aan elektriciteit uit fluctuerende energiebronnen zoals wind- of zonne-energie. Om een voorbeeld te gebruiken: wanneer er veel windkracht beschikbaar is, maar er op dat moment geen vraag is, kan waterstof worden gemaakt. Deze waterstof kan later worden gebruikt en fungeert dus als een "buffer". Ten tweede kan waterstof worden opgeslagen in tanks en worden vervoerd via pijpleidingen of per schip of vrachtwagen. De beschikbaarheid van waterstof biedt meerdere mogelijkheden om energie te transporteren: het kan worden getransporteerd naar plaatsen waar geen duur hoogspanningsnet is of waar de netwerkcapaciteit niet toereikend is.

3 https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1542

4 https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en

5 <https://www.policyforum.net/chinas-raw-materials-strategy/>

6 Rabe, W., Kostka, G., & Smith Stegen, K. (2017). China's aanbod van CRM's: Risico's voor Europa's zonne- en windindustrie? *Energiebeleid*, 101, 692-699.

7 OESO iLibrary | Exportcontroles en concurrentievermogen in de Afrikaanse mijnbouw en mineralenverwerkende industrie (oecd-ilibrary.org)

8 Essentiële grondstoffen voor de EU - Verslag van de ad-hocwerkgroep voor het definiëren van essentiële grondstoffen, juni 2010

9 Kleijn, E.G.M. (2012), *Materialen en energie: een verhaal van verbanden*, proefschrift

10 Mondiale energietransitie en de vraag naar metalen - een inleiding -Elmer Rietveld, Hettie Boonman, Toon van Harmelen, Ton Bastein, 2018

11 Mineralen voor klimaatactie: De minerale intensiteit van de overgang naar schone energie, De Wereldbank, 2020

12 Metaalvraag voor hernieuwbare elektriciteit generatie in Nederland, Pieter van Exter, Sybren Bosch, Branco Schipper, Benjamin Sprecher, René Kleijn, 2018

13 Essentiële grondstoffen voor strategische technologieën en sectoren in de EU - Gemeenschappelijk Centrum voor Onderzoek (JRC) van de Europese Commissie, 2020

Deze meervoudige functies garanderen een belangrijke plaats voor waterstof in de toekomst. Daarom zijn er verschillende scenario's gemaakt voor de toekomst van waterstof in de EU. Hoewel de voorspelde vraag naar waterstof voor de EU in 2050 sterk uiteenloopt, suggereert een van de meer prominente prognoses dat ongeveer 8100 PJ (petajoule) waterstof nodig zal zijn.¹⁴ Ter vergelijking: dit is meer dan 2,5 maal het huidige jaarlijkse energieverbruik van Nederland of 60% van dat van Duitsland.^{15,16}

Waterstof kan op verschillende manieren worden geproduceerd, maar het splitsen van water in waterstof en zuurstof via een elektrische stroom (elektrolyse) wordt beschouwd als de meest levensvatbare duurzame optie (zie het kader "Waarom groen, niet blauw" hieronder). Voor dit proces heeft men een elektrolyseapparaat nodig.

Alle huidige types van elektrolyseapparaten vereisen essentiële grondstoffen als katalysator voor het splitsen van de watermolecuul. Op dit moment wordt groene waterstof alleen op veel kleinere proefschaal geproduceerd.¹⁷

Om dit in perspectief te plaatsen: om de genoemde 8100 PJ aan groene waterstof te produceren, is in de komende 30 jaar een 7x zo grote opschaling nodig van de huidige waterstofproductiecapaciteit in de EU.¹⁸ Dit betekent dat de hoeveelheid CRM die nodig zal zijn voor de productie van groene waterstof ook aanzienlijk zal toenemen.

¹⁴ Het scenario dat hier wordt gehanteerd, is het "ambitieuze" scenario van de FCH, dat hier kan worden gevonden: <https://www.fch.europa.eu/news/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition>. Dit "ambitieuze" scenario is genomen om de grenzen te testen van de hoeveelheid essentiële grondstoffen die nodig zouden zijn om de EU van groene waterstof te voorzien. Hoewel FCH verwacht dat een deel van 8100 PJ zal worden geproduceerd als blauwe of grijze waterstof, evalueren wij het 100% groene scenario om inzicht te krijgen in de omvang van potentiële materiaaltekorten in verband met de productie van groene waterstof op lange termijn.

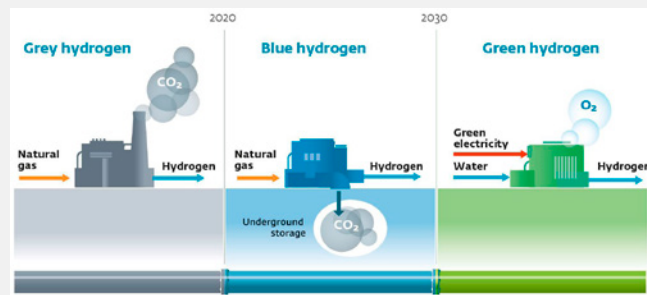
¹⁵ <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0052-energieverbruik-per-sector>

¹⁶ <https://energytransition.org/2018/01/german-energy-consumption-grew-in-2017-emissions-stable/>

¹⁷ Er wordt op MW-schaal "groene waterstof" geproduceerd. <https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/towards-co2-neutral-fuels-and-feedstock/hydrogen-for-a-sustainable-energy-supply/ten-things-you-need-to-know-about-hydrogen>

¹⁸ <https://www.fch.europa.eu/news/hydrogen-roadmap-europe-sustainable-pathway-european-energy-transition>

KADER 1: GROENE OF BLAUWE WATERSTOF?



Bron: Gasunie | Longread Waterstof - Wat is waterstof?

Er zijn verschillende “soorten” waterstof: “grijze”, “blauwe” en “groene” waterstof. Het verschil zit in de manier waarop de waterstof wordt geproduceerd en of deze productie afkomstig is van fossiele grondstoffen.

Op dit moment wordt waterstof meestal geproduceerd uit aardgas, wat leidt tot CO₂-uitstoot. Deze waterstof wordt “grijze” waterstof genoemd. Als de CO₂-emissies worden afgevangen en ondergronds opgeslagen met behulp van “Carbon Capture and Storage” (CCS)-technologieën, wordt de resulterende waterstof “blauw” genoemd. Bij “blauwe” waterstof wordt minder CO₂ geproduceerd, maar alleen als de CCS-technologie is toegepast. Momenteel wordt CCS nog niet op grote schaal toegepast, vooral omdat de kosten hoog zijn en de technologie nog moet worden ontwikkeld.

Hoewel blauwe waterstof kan worden gebruikt als tussenoplossing terwijl groene waterstofinfrastructuur wordt aangelegd, moet het op lange termijn geleidelijk worden afgeschaft omdat:

- grootschalige infrastructuur voor blauwe waterstof kan leiden tot een fossiele brandstof “lock-in”: als we op grote schaal in CCS-infrastructuur investeren, kan dat de overgang naar duurzamere en niet op fossiele brandstoffen gebaseerde groene waterstofalternatieven tot stilstand brengen. Dit is een van de redenen waarom CCS in veel landen tot publieke tegenstand heeft geleid.
- de grote mate waarin CCS vereist is voor blauwe waterstofproductie: de huidige wereldwijde CCS-capaciteit zal 15x moeten toenemen om aan de vraag naar waterstof in de EU te voldoen (ervan uitgaande dat we alleen CO₂ van waterstofproductie opslaan en niets anders).¹⁹

Daarom kan op lange termijn alleen waterstof geproduceerd uit water en hernieuwbare elektriciteit (“groene” waterstof) bijdragen tot een aanzienlijke en duurzame vermindering van de CO₂-uitstoot en wordt groene waterstof gekozen als het toepassingsgebied voor deze publicatie.

Alle waterstof die momenteel op grote schaal wordt geproduceerd, is grijs. Blauwe waterstof wordt op kleinere schaal geproduceerd, terwijl de productie van “groene” waterstof alleen op MW-schaal (megawatt) kan worden gemeten. (Ter referentie: de hoeveelheid MW die door een gemiddelde gasgestookte centrale wordt geproduceerd is ~100-500MW).²⁰

Om de hoeveelheid CRM te berekenen die nodig is voor de productie van groene waterstof in de EU in 2050, moet eerst worden nagegaan welke CRM worden gebruikt in de verschillende soorten elektrolytische cellen. Twee courant gebruikte types elektrolytische cellen worden geanalyseerd: het PEM-type en het AEL-type (zie kader 2). PEM-elektrolytische cellen maken gebruik van iridium en platina, terwijl AEL-elektrolytische cellen nikkel, kobalt en platina bevatten. Het is zeer waarschijnlijk dat PEM- en AEL-elektrolytische cellen gelijktijdig zullen worden gebruikt in het toekomstige energiesysteem, vanwege hun afzonderlijke voor- en nadelen (zie ook kader 2).²¹

¹⁹ Current CCS capacity 40Mtpa - Global CCS institute (2019). Global status of CCS targeting climate change Gray hydrogen emissions (Steam Methane Reforming technology) - 75 g/MJ, [https://greet.es.anl.gov/publication-smr_h2_2019#:~:text=The%20median%20CO2%20emission%20normalized,Rutkowski%20et%20al%20\(2012\)](https://greet.es.anl.gov/publication-smr_h2_2019#:~:text=The%20median%20CO2%20emission%20normalized,Rutkowski%20et%20al%20(2012))

²⁰ <https://www.kivi.nl/uploads/media/5d48107106834/Factsheet%20Gascentrale.pdf>

²¹ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/371/4/042022/pdf#:~:text=The%20structure%20of%20the%20PEM,%20Dpole%20spacing%5B4%5D>

Voor deze studie gaan we ervan uit dat de helft van de totale groene waterstof (4050 PJ) wordt geproduceerd via PEM-elektrolytische cellen en de andere helft via AEL-elektrolytische cellen. Daarnaast is de groei van de groene waterstofproductie tot 8100 PJ in 2050 gelijkmatig verdeeld over de komende 30 jaar (2020-2050). In deze periode zullen elektrolytische cellen het einde van hun levensduur bereiken en dus aan vervanging toe zijn, waardoor de vraag naar CRM zal toenemen. Ook hiermee werd rekening gehouden.

Gegevens over de capaciteit van deze elektrolytische cellen, hun levensduur en de hoeveelheid essentiële grondstoffen die in de elektrolytische cellen worden gebruikt, zijn gebaseerd op literatuur, kennis van deskundigen en verificatie bij marktpartijen.²²

Tabel 1 geeft de hoeveelheid CRM weer die nodig is voor de productie van 8100 PJ groene waterstof, als percentage van de huidige wereldwijde jaarlijkse productie. Laten we eens kijken naar de hoeveelheid iridium die jaarlijks nodig is om de verwachte productiecapaciteit van 8100 PJ groene waterstof tegen 2050 te bereiken. Om dit niveau van waterstofproductie in de EU te bereiken, zou de jaarlijkse vraag naar iridium voor elektrolyse alleen al 122% bedragen van de huidige wereldwijde jaarlijkse iridiumproductie.²³

Naast iridium vereist groene waterstof een aanzienlijk percentage van de jaarlijkse wereldwijde platinaproductie (25%). De vraag naar nikkel - zowel klasse-1 (hoge zuiverheidsgraad) als Raney-nikkel (specifieke legering) - en kobalt lijkt minder druk uit te oefenen op de totale beschikbaarheid van deze materialen.

Stack	CRM	Benodigde hoeveelheid groene waterstof in 2050, als % van de huidige wereldwijde jaarlijkse productie	Ook gebruikt in
PEM	Iridium	122%	Elektronica (43%), elektrochemie (27%), chemische industrie (7%)
PEM&AEL	Platinum	25%	Autokatalysatoren (80%), juwelen (10%), chemische industrie (5%)
AEL	Raney-Ni	0.4%	Ni: roestvrij staal, magneten, batterijen, munten, legeringen, chemische industrie
AEL	Nikkel (class 1)	2%	Hetzelfde als hierboven beschreven voor Ni
AEL	Cobalt	0.1%	Batterijen (42%), legeringen (23%), materialen (10%)

Tabel 1 Jaarlijkse behoeften aan essentiële grondstoffen voor 8100 PJ groene waterstofproductie (50% PEM, 50% AEL) en de andere toepassingen van de essentiële grondstoffen

²² Een gedetailleerde lijst van de kritische grondstofsamenstellingen van de elektrolyzers is te vinden in het later gepubliceerde artikel van dezelfde auteurs "The unavailability of materials will hinder the production of green hydrogen. Part 2: what can be done?" of door contact op te nemen met de auteurs voor meer informatie.

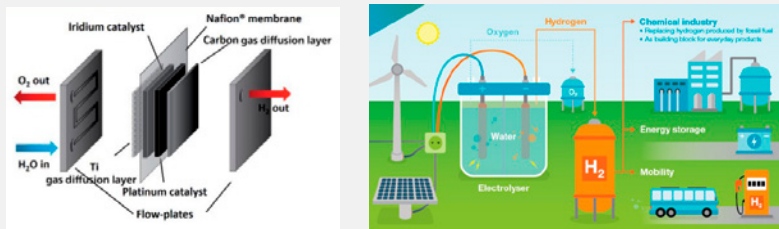
²³ Wanneer 8100 PJ groene waterstof zal worden geproduceerd door 50% PEM- en 50% AEL-elektrolytische cellen, die beide 4050 MW produceren. Zie voetnoot 19.

<https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/towards-co2-neutral-fuels-and-feedstock/hydrogen-for-a-sustainable-energy-supply/ten-things-you-need-to-know-about-hydrogen/>

KADER 2: WAT ZIJN ELEKTROLYTISCHE CELLEN?

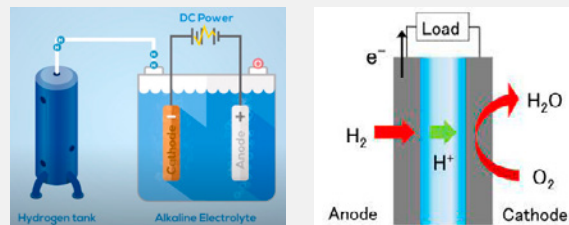
Elektrolytische cellen zetten water en (hernieuwbare) elektriciteit om in waterstof door de watermoleculen te splitsen in waterstof en zuurstof. Dit proces wordt elektrolyse genoemd. De kern van een elektrolytische cel is de zogenaamde “stack”, het gedeelte waar de elektrolyse plaatsvindt (zie onderstaande afbeelding). Deze “stack” bestaat uit verschillende lagen waarvan er één een membraan (een “filter”) is. Dit membraan bevat vaak de essentiële grondstoffen die als katalysator voor de reactie fungeren.

De elektrolysestacks zullen groene waterstof produceren wanneer ze worden aangesloten op een duurzame energiebron (bv. PV-panelen of windturbines. (zie afbeelding hieronder). Nadat de waterstof is geproduceerd kan het worden opgeslagen (samengeperst in tanks) en getransporteerd. Het kan worden gebruikt als energieopslag (bijv. om een overschot aan groene stroom op te slaan), als chemische grondstof of als brandstof voor brandstofcellen. Om de waterstofproductie te verhogen, moeten er meer en grotere stacks in de elektrolytische cel worden geïnstalleerd.

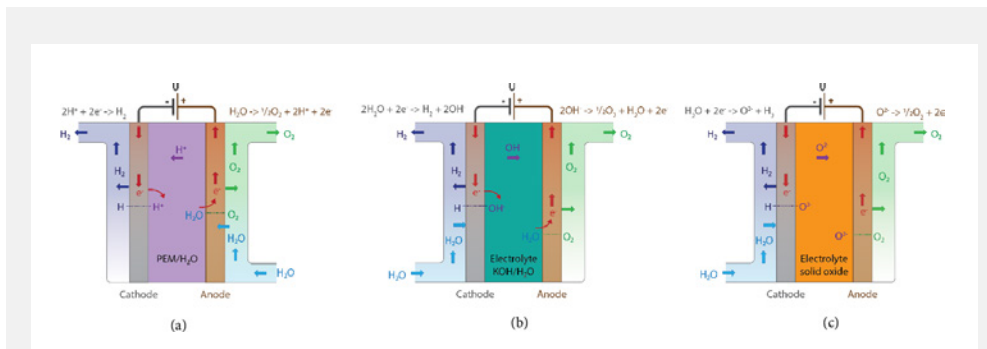


Afbeelding: Cronin et al. en “naar Akzo Nobel en Gasunie”.

Er zijn verschillende soorten elektrolytische cellen: polymeer elektrolyt membraan elektrolytische cellen (PEM), alkalische water elektrolytische cellen (AEL of gewoon “alkaline”) en solid oxide elektrolyse cells (SOEC).



Afbeelding: "Analysis of Trends and Emerging Technologies in Water Electrolysis Research Based on a Computational Method: A Comparison with Fuel Cell Research"



Afbeelding: 'An Analytical Model for the Electrolyser Performance Derived from Materials Parameters'

PEM- en AEL-elektrolytische cellen zijn momenteel in de handel verkrijgbaar. SOEC-elektrolytische cellen hebben een lager "technology readiness level" (TRL) en zijn nog in ontwikkeling. Daarom staan PEM en AEL centraal in deze studie. PEM- en AEL-elektrolytische cellen maken beide waterstof, maar door hun verschillende werkingsprincipes hebben zij hun voor- en nadelen, waardoor zij geschikt zijn voor verschillende soorten toepassingen.

AEL-elektrolytische cellen maken gebruik van een kathode en een anode in een alkalische elektrolytische vloeistof. Het principe doet denken aan dat van een batterij. AEL-elektrolytische cellen bevatten platina, kobalt en nikkel. De belangrijkste voordelen van AEL- elektrolytische cellen zijn dat de technologie haar waarde heeft bewezen, dat ze relatief goedkoop zijn, dat het aantal elektrolysestacks gemakkelijk kan worden verhoogd, en dat zij minder essentiële grondstoffen bevatten dan PEM. Nadelen van AEL zijn de lagere stroomdichtheid, het lagere rendement en het feit dat de elektrolytische vloeistof corrosief is. De typische levensduur van een AEL- elektrolytische cel is tien jaar.

PEM-elektrolytische cellen gebruiken een membraan (een vast polymeerelektrolyt) tussen de kathode en de anode in plaats van een vloeistof. Zij bevatten gewoonlijk iridium, platina en tantaal. De belangrijkste voordelen van PEM zijn de hoge stroomdichtheid en het hoge rendement, de snelle reactie van het systeem waardoor het geschikt is voor dynamische werking, en het feit dat het systeem compacter is dan AEL. Nadelen van PEM-elektrolytische cellen zijn de hoge kosten van de onderdelen (gedeeltelijk door de schaarste van essentiële grondstoffen), hun geringere duurzaamheid en het feit dat zij zuur bevatten dat corrosiegevaar oplevert. De typische levensduur van een PEM-elektrolytische cel is zeven jaar.

Alleen de essentiële grondstoffen die deel uitmaken van de elektrolysestapel zelf werden in aanmerking genomen: andere onderdelen, zoals compressoren en de elektriciteitsvoorziening, vallen buiten het bestek van deze publicatie.²⁴

²⁴ https://www.researchgate.net/figure/Advantages-and-disadvantages-of-alkaline-and-PEM-electrolysis_tbl1_263470190 en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/371/4/042022/pdf#:~:text=De%20structuur%20van%20de%20PEM,%20Dpole%20spacing%5B4%5D>

DE CONCURRENTIE OM ESSENTIËLE GRONDSTOFFEN: ZAL DE ENERGIETRANSITIE GENOEG KRIJGEN?

Het is duidelijk geworden dat in vergelijking met de totale CRM-productie, voor groene waterstof een aanzienlijk deel van de beschikbare hoeveelheden iridium en platina nodig zal zijn. Bovendien worden deze grondstoffen momenteel ook in andere producten gebruikt. Deze andere toepassingen zullen niet van het toneel verdwijnen. Men zou zelfs kunnen redeneren dat de vraag naar de andere toepassingen in de toekomst ook zal toenemen ten gevolge van een groeiende wereldbevolking en een verbeterde levensstandaard. Dit betekent dat de totale vraag naar CRM sterk zal toenemen. Wanneer al deze toepassingen worden meegerekend en de vraag van 8100 PJ groene waterstof in 2050 wordt toegevoegd, resulteert dat in een jaarlijkse vraag naar iridium zoals weergegeven in figuur 1.

Figuur 1 toont het toekomstige gebruik van iridium voor toepassingen als elektronica en chemische productie (geel) in metrische tonnen per jaar. Daarbovenop wordt de hoeveelheid weergegeven die nodig is voor groene waterstof als we de EU-productie inderdaad willen verhogen tot 8100 PJ (blauw). De donkerblauwe delen van de grafiek geven de hoeveelheid iridium aan die nodig is om de capaciteit op te voeren tot 8100 PJ, terwijl de lichtblauwe delen de hoeveelheid iridium weergeven die nodig is om elektrolytische cellen te vervangen die aan het eind van hun levensduur zijn. Tenslotte toont de groene lijn de huidige jaarlijkse iridiumproductie. Deze lijn laat ook zien dat de toekomstige vraag naar iridium vele malen groter is dan het huidige aanbod.

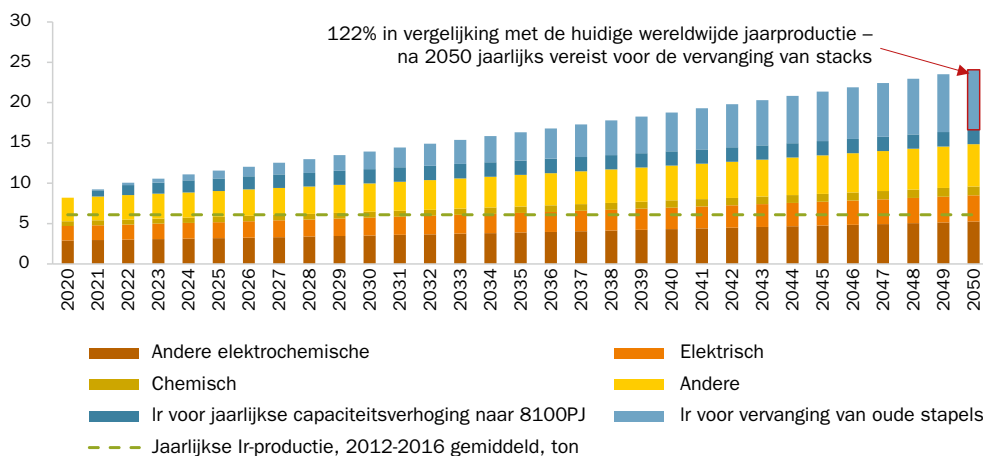
De toegenomen vraag naar essentiële grondstoffen kan eerder vroeger dan later tot merkbare verstoringen van het aanbod leiden: verwacht wordt dat het in het komende decennium steeds moeilijker zal worden om essentiële grondstoffen aan te kopen. Met “moeilijk” bedoelen wij dat de prijs ervan kan stijgen of een volatiel gedrag kan vertonen. Er kunnen ook perioden zijn waarin het materiaal helemaal niet beschikbaar is.

“HET NIET BESCHIKBAAR ZIJN VAN ESSENTIËLE GRONDSTOFFEN ZAL EEN BELEMMERING VORMEN VOOR DE REEDS AMBITIEUZE PLANNEN OM ONS ENERGIESYSTEEM OM TE VORMEN TOT EEN DUURZAAM SYSTEEM.”

Men zou kunnen zeggen dat een waterstofvraag van 8100 PJ te hoog is en dat het hier gehanteerde scenario om tegen 2050 8100 PJ te produceren te ambitieus is. Als dit het geval is, helpt dit voorbeeld ons echter te kijken naar de potentiële ernst van het probleem zoals het zich nu voordoet. Onderzoek zou bijvoorbeeld ervoor kunnen zorgen dat er minder essentiële grondstoffen nodig zijn in elektrolytische cellen.

“NIETTEMIN KAN HET FEIT DAT IN DIT WATERSTOFSCENARIO ALLEEN DE EU AL MEER NODIG HEEFT DAN DE HUIDIGE MONDIALE JAARPRODUCTIE VAN EEN BEPAALDE GRONDSTOF, DIENEN ALS EEN REALITEITSCHECK DAT DE BESCHIKBAARHEID VAN GRONDSTOFFEN NIET ALS VANZELFSPREKEND MAG WORDEN BESCHOUWD EN DAT PLANNEN VOOR DE ENERGIETRANSITIE DIE GEEN REKENING HOUDEN MET GRONDSTOFFEN, KUNNEN VASTLOPEN IN DE UITVOERING. ”

Hoeveelheid jaarlijks benodigde iridium voor diverse toepassingen, ton/jaar



Figuur 2 Hoeveelheid iridium die jaarlijks nodig is voor het opschalen van de productie van groene waterstof en voor andere toepassingen²⁵

De bovenstaande paragrafen benadrukken de potentiële ernst van het probleem voor de productie van groene waterstof voor de EU. Maar het probleem is veel groter en meer verweven dan alleen dit specifieke geval. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van drie voorbeelden.

²⁵ Huidige toepassingen van iridium: PGM Market Report (2020), Johnson Matthey. Uitgaande van een groei van 2% per jaar vanaf het niveau van 2019 voor alle toepassingen.

Iridium nodig voor capaciteitsverhoging en vervanging schoorsteen: TNO-analyse.

Huidige iridiumvoorziening: Gemiddelde 2012-2016, EU Critical Material Factsheets, 2020

Het probleem is niet beperkt tot iridium en platina of tot de toepassing van CRM in elektrolytische cellen. Naast elektrolytische cellen zijn ook voor andere duurzame energietoepassingen CRM nodig, bijvoorbeeld windturbines (b.v. borium, dysprosium, neodymium), accu's (b.v. kobalt, lithium, niobium), fotovoltaïsche cellen (b.v. indium, hoogwaardig silicium) en brandstofcellen (b.v. kobalt, palladium, platina, titanium, strontium). Een tekort aan lithium en kobalt voor de productie van batterijen is al door verscheidene fabrikanten van batterijen bekendgemaakt.²⁶ Dit geeft aan dat het probleem van materiaaltekorten voor de energietransitie niet alleen geldt voor de productie van groene waterstof, maar kan worden uitgebreid naar andere duurzame energiewaardeketens zoals elektrisch rijden en zonne-energie.

Er zal concurrentie ontstaan omdat essentiële grondstoffen nodig zijn voor meerdere toepassingen. Zoals blijkt uit tabel 1, worden essentiële grondstoffen gebruikt voor meerdere toepassingen. Indien er een tekort is aan een bepaalde grondstof, zal dit gevolgen hebben voor alle toepassingen. Bijvoorbeeld: als er een tekort is aan iridium en als gevolg daarvan de prijzen stijgen, zullen zowel de elektrolyse-industrie als de elektronica-industrie hiermee te maken krijgen. Naast het feit dat beide industrieën onder druk zullen komen te staan, zal er concurrentie ontstaan: welke sector kan de materialen tegen de hogere prijs inkopen of welke sector heeft zijn toeleveringsketen het best beveiligd? Dit leidt tot de vraag of essentiële industrieën zoals de energiesector in staat zullen zijn de materialen die zij nodig hebben, veilig te stellen.

Bovendien hebben sommige energievoorzieningen, die alle even cruciaal zijn voor de energietransitie, dezelfde essentiële grondstoffen nodig (bijv. windmolens, batterijen en elektrolytische cellen die nikkel nodig hebben), waardoor het concurrentie-effect binnen de energiesector nog zou kunnen toenemen.

De grondstofbehoefte heeft de vorm van een hockeystick, niet van een vlakke lijn. In deze publicatie voorspellen we, voor het gemak van het voorbeeld, dat de opbouw naar de 8100 PJ aan waterstofproductiecapaciteit gelijkmatig verdeeld zal zijn tegen 2050 (zoals te zien is in figuur 2). In werkelijkheid zal dit echter niet het geval zijn: de technologie om grootschalige elektrolytische cellen te bouwen is nog in ontwikkeling. Het is waarschijnlijker dat technologieën voor hernieuwbare energie exponentiële groeipercentages zullen kennen.²⁷ In andere woorden: misschien onderschatten we het probleem nu ("We ervaren op dit moment geen schaarste.") terwijl we over een paar jaar voor het voldongen feit van een sterk stijgende vraag zullen staan, vanwege het toenemende aantal voorzieningen dat nodig is voor de energietransitie.

De EU is niet de enige regio die essentiële grondstoffen nodig heeft. De hele wereld is bezig met de opbouw van voorzieningen voor duurzame energie. Voor het voorbeeld van grootschalige productie van groene waterstof: Japan en Canada zijn begonnen met omvangrijke projecten op basis van groene waterstof. China meldt dat zij het aantal voertuigen dat op waterstof rijdt, de komende 10 jaar wil verhogen van 5 duizend tot 1 miljoen.²⁸

De wereldwijde vraag naar (groene) waterstof zal dus potentieel vele malen groter zijn dan die van de EU.²⁹ Net als voor de EU-scenario's lopen de scenario's voor de wereldwijde vraag naar waterstof sterk uiteen. De hoogste vraag wordt gerapporteerd door de Hydrogen Council in 2017, die stelt dat de wereldwijde jaarlijkse vraag naar waterstof in 2050 78000 PJ bedraagt. Shell meldt de laagste voorspelling van de wereldwijde vraag naar waterstof op 9000 PJ.³⁰

Deze voorbeelden gelden alleen voor waterstof en worden gebruikt om de omvang van het potentiële probleem op globale schaal te illustreren.

²⁶ <https://www.mining.com/tesla-hit-by-battery-shortage-amid-rallying-lithium-cobalt-nickel-prices/>

²⁷ Aanpak van de materiële beperkingen van de exponentiële groei van de energietransitie

²⁸ <https://www.researchgate.net/>

publication/343291486_Is_China's_Hydrogen_Economy_Coming_A_Game-Changing_Opportunity

²⁹ <https://www.powermag.com/countries-roll-out-green-hydrogen-strategies-electrolyzer-targets/>

³⁰ <https://www.researchgate.net/>

publication/343291486_Is_China's_Hydrogen_Economy_Coming_A_Game-Changing_Opportunity

“WANNEER DE SCHAARSTE VAN ESSENTIËLE GRONDSTOFFEN INDERDAAD GEVOLGEN ZAL HEBBEN VOOR DE PRODUCTIE VAN ELEKTROLYTISCHE CELLEN, WINDMOLENS EN BATTERIJEN, ZOU DIT KUNNEN BETEKENEN DAT DE ENERGIETRANSITIE NIET VOLGENS PLAN KAN VERLOPEN VANWEGE EEN PROBLEEM DAT NIEMAND ZAG AANKOMEN: WE HADDEN GEEN MATERIALEN OM DE VOORZIENINGEN TE MAKEN.”

Dit kan er weer toe leiden dat de EU haar klimaatdoelstellingen niet op tijd haalt. We kunnen het ons niet veroorloven dat onze energietransitie wordt vertraagd door een verstoring van de materiaalvoorziening, dus het is tijd voor actie.

TIJD VOOR ACTIE: HOE DE EU ERVOOR MOET ZORGEN DAT ER VOLDOENDE GRONDSTOFFEN ZIJN OM ONS ENERGIESYSTEEM OP TE BOUWEN

Als er geen duurzame energiebronnen kunnen worden gebouwd omdat essentiële grondstoffen niet beschikbaar zijn, heeft dat een negatief effect op de voortgang van onze energietransitie. Als gevolg daarvan kunnen we onze klimaatdoelen wellicht niet halen.

Gezien de mogelijke gevolgen van schaarste van essentiële grondstoffen is er actie vereist op Europese schaal. De oplossingen voor het probleem van de essentiële grondstoffen kunnen in twee categorieën worden onderverdeeld:

- Technologische vooruitgang
- Beleid & regelgeving

De rol van technologie

Technologie zal een belangrijke rol spelen bij de vermindering van het gebruik van essentiële grondstoffen in toepassingen als elektrolytische cellen. Zonder technologische ontwikkeling blijft de strategie van de EU om aan voldoende essentiële grondstoffen te komen beperkt tot “zoveel mogelijk kopen” - een kortzichtige kortetermijnoplossing. Met behulp van technologie zal het mogelijk zijn het gebruik van een materiaal als iridium te voorkomen (bijv. door de hoeveelheid iridium te verminderen of het door een alternatief te vervangen) of de levensduur van elektrolytische cellen te verlengen. Men zou ook kunnen onderzoeken of iridium kan worden gerecycled. Deze drie opties (preventie, verlenging en recycling) en hun impact worden meer gedetailleerd beschreven in deel 2 van deze publicatie die door dezelfde auteurs zal worden gepubliceerd. We kunnen nu al vaststellen dat de vervanging van iridium door verschillende materialen een veelbelovende strategie lijkt.

Hoewel technologische vooruitgang een zeker deel van het antwoord vormt, bevinden de meeste technologieën die onze afhankelijkheid van CRM zouden kunnen verminderen zich nog in een vroeg ontwikkelingsstadium. In dit tempo zal het jaren duren voordat deze technologieën klaar zijn om te worden toegepast: tegen die tijd zou de energietransitie al een tekort aan materialen kunnen voelen. Een gezamenlijk pan-Europees onderzoeksinitiatief is van essentieel belang: een aanzienlijke schaalvergroting en prioritering zijn nodig om deze technologieën snel te ontwikkelen. Gecoördineerde onderzoeksagenda's, betrokkenheid van beleidsmakers en industrieën zijn nodig.

Een netwerk van RTO's, waaronder TNO, doet gezamenlijk onderzoek naar elektrolyse en de afname van essentiële grondstoffen in elektrolytische cellen. Meer info is te vinden onder de referentie.³¹

³¹ <https://www.tno.nl/en/about-tno/news/2020/11/european-rtos-accelerating-development-of-electrolysis/> deze website bevat de position paper "HySpeedInnovation" over het onderwerp innovatie op het gebied van elektrolyse

De rol van beleid en regelgeving

Technologische vooruitgang is echter niet de "kip met de gouden eieren" en zal het probleem niet in zijn eentje oplossen. Ervoor zorgen dat essentiële grondstoffen beschikbaar zijn is een taak van nationale en Europese omvang; het gaat om geopolitiek, strategie en regelgeving. Afzonderlijke lidstaten kunnen hun eigen bevoorrading tot op zekere hoogte controleren, maar zij kunnen niet binnen de vereiste termijn een oplossing vinden voor de materialen van de hele EU. Actie op Europese schaal en coördinatie door zowel de industrie als overheidsinstanties is daarom essentieel.

De VS en China beschouwen de beschikbaarheid van grondstoffen als een strategisch punt voor hun economische ontwikkeling en nationale veiligheid. Jarenlang hebben zij actief beleid ontwikkeld met betrekking tot de verwerving van essentiële grondstoffen en het veiligstellen van hun toeleveringsketens.³² Europa zet nu ook de eerste stappen naar een soortgelijke strategie in 2020³³: in september 2020 is de "Critical Materials Alliance"³⁴ gelanceerd. Een van de taken van deze alliantie is het vormen van de schakel tussen de industrie en de beleidsmakers. Dit is een eerste stap naar actie.

In de tweede plaats is regulering van de markten voor essentiële grondstoffen misschien de enige optie. Indien het probleem van de essentiële grondstoffen niet kan worden opgelost, staan wij voor de keuze voor welke toepassingen bepaalde grondstoffen mogen worden gebruikt. Tot dusver is de markt doeltreffend gebleken als het gaat om het in evenwicht brengen van vraag en aanbod. Maar als er inderdaad een tekort ontstaat, kan de markt er dan voor zorgen dat grondstoffen vooral worden gebruikt om de klimaatverandering tegen te gaan? Of zal deze dringende mondiale kwestie moeten concurreren met producten zoals telefoons of juwelen? Beleidsmakers moeten rekening houden met de effecten van marktconcurrentie. Regelgeving zou ervoor kunnen zorgen dat essentiële grondstoffen beschikbaar zijn voor en gebruikt worden in de meest essentiële industrieën. Alleen op die manier zullen essentiële grondstoffen op de voor de samenleving meest gunstige wijze worden gebruikt.

“LATEN WE DE LEVERING VAN ESSENTIËLE GRONDSTOFFEN AAN ESSENTIËLE EU-INDUSTRIEËN VEILIGSTELLEN OM EEN STERKE POSITIE TE BEHOUDEN EN TE GARANDEREN DAT ZE WORDEN GEBRUIKT IN TOEPASSINGEN DIE VAN MAATSCHAPPELIJK BELANG ZIJN VOOR IEDEREEN.”

³² <https://foreignpolicy.com/2020/05/25/china-trump-trade-supply-chain-rare-earth-minerals-mining-pandemic-tensions/> (VS) en <https://www.aspistrategist.org.au/dependence-on-china-for-rare-earths-wont-change-without-investment-in-whole-supply-chain/> (China)

³³ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1542

³⁴ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1542 en <https://www.crmalliance.eu/>

VOLGENDE STAPPEN

Duidelijkheid over het gebruik van essentiële grondstoffen in duurzame energievoorzieningen en over de markten voor essentiële grondstoffen is van essentieel belang. De auteurs stellen voor de reeds beschikbare literatuur over de vraag naar essentiële grondstoffen voor energievoorzieningen te combineren en de lacunes op te vullen: over sommige voorzieningen zijn weinig gegevens beschikbaar. Het is van essentieel belang deze gegevens te koppelen aan plannen en scenario's die de EU en de nationale regeringen opstellen om het grotere plaatje van de vraag naar essentiële grondstoffen te zien.

Bovendien zou het een gewoonte moeten worden om bij het uitwerken van dergelijke plannen en scenario's ook aan de benodigde grondstoffen te denken: het energiesysteem en het grondstoffsysteem zijn duidelijk met elkaar verbonden en het is van essentieel belang dat men zich hiervan bewust is. De beschikbaarheid van grondstoffen zou op de agenda van elke (nationale) regering moeten staan, of dit nu is via een apart Ministerie van Grondstoffen of een nationaal onderzoeksinstituut dat de juiste kennis opbouwt om beleidsmakers te ondersteunen.

In deel 2 van deze publicatie gaan de auteurs dieper in op technologische mogelijkheden voor het verminderen van de hoeveelheid essentiële grondstoffen die nodig is voor elektrolytische cellen, en op andere mogelijke oplossingen.

Laten we de inspanningen van de RTO's, de industrie en de regeringen bundelen om een belangrijke verandering teweeg te brengen en te zorgen voor mitigerende technologieën en een passend en solide beleid op gebied van essentiële grondstoffen. Alleen op die manier zullen we voldoende grondstoffen hebben om ons huis te bouwen.

TNO

TNO is het Nederlands onderzoekscentrum voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek. Onder haar onderzoekers bevinden zich experts op het gebied van de energietransitie, essentiële grondstoffen, circulaire economie en duurzaamheid. Kijk op www.tno.nl voor alle focusgebieden van het onderzoek van TNO. TNO heeft een open innovatie laboratorium dat zich focust op electrolyse technologieën - Faraday lab. Zie [hier](#) voor meer details.

DANKBETUIGINGEN

Wij danken onze collega's Frans van Berkel, Octavian Partenie, Elmer Rietveld, Robin White, Ton Bastein en Willem ter Horst voor hun steun en bijdragen aan dit artikel en het onderliggende onderzoek.

Het in dit artikel gepresenteerde onderzoek is opgezet binnen het VoltaChem Shared Innovation Program. De focus van dit programma is de elektrificatie van de industrie. Het programma heeft een levendige gemeenschap bestaande uit (industriële) partners. Deze partners achtten de beperkte beschikbaarheid van essentiële grondstoffen een van de potentiële hindernissen voor grootschalige implementatie van Power-2-X technologieën. Voor meer informatie: <https://www.voltachem.com/>

CONTACT

Wilt u in contact komen over het onderwerp essentiële grondstoffen, neem dan rechtstreeks contact op met de auteurs.

Sara Wieclawska

sara.wieclawska@tno.nl

Consultant bij TNO

Anastasia Gavrilova

anastasia.gavrilova@tno.nl

Consultant bij TNO