

Leiden-Delft-Erasmus  
Universities

# GRONDSTOFFEN, GELD EN GEOPOLITIEK

NAAR EEN  
DUURZAME  
EN SOCIALE  
ENERGIE-  
TRANSITIE  
IN EUROPA

SUSTAINABLE SOCIETY



Foto: Getty Images

7 wetenschappers | 16 inzichten | 7 adviezen



# Inhoud

<b><i>Inleiding</i></b>	5
<b><i>Samenvatting</i></b>	6
<b><i>English summary</i></b>	8
<b><i>#1 De energietransitie: een monumentale verschuiving van grondstoffen en beleid</i></b>	12
Dr. René Kleijn Centrum voor Milieuwetenschappen, Universiteit Leiden	
<b><i>#2 Mijnbouw in de EU is de hoge prijs waard</i></b>	18
Dr. Jojo Nem Singh International Institute of Social Studies, Erasmus University Rotterdam	
<b><i>#3 Hoe de hazen (moeten) lopen rond kritieke metalen</i></b>	24
Dr. Benjamin Sprecher Faculteit Industrieel Ontwerpen, TU Delft	
<b><i>#4 Materiaaltekort: lessen uit de Tweede Wereldoorlog</i></b>	30
Dr. David Peck Faculteit Bouwkunde, TU Delft	
<b><i>#5 Grondstoffen uit afval en je broekzak: urban mining</i></b>	34
Prof. dr. Ester van der Voet Centrum voor Milieuwetenschappen, Universiteit Leiden	
<b><i>#6 Het zonnepaneel van de toekomst kun je wél recycleren</i></b>	38
Prof. dr. Olindo Isabella Faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica, TU Delft	
<b><i>#7 Financiering is ook een grondstof voor de energietransitie</i></b>	44
Dr. Ronald Huisman Erasmus School of Economics, Erasmus University Rotterdam	
<b><i>Verder lezen</i></b>	50
<b><i>Colofon</i></b>	54



# Inleiding

De Europese Unie heeft met de Green Deal ambitieuze en broodnodige klimaatdoelen geformuleerd:

- De netto uitstoot van broeikasgassen moet tot nul zijn teruggebracht tegen 2050;
- Economische groei moet dan zijn losgekoppeld van het gebruik van hulpbronnen;
- Dit alles met oog voor het welzijn van alle mensen in alle regio's.

## **Kritieke materialen**

Natuurlijk vergt het behalen van deze doelen technische innovaties. Maar eerst en vooral is de Green Deal een transitie van fossiele brandstoffen naar metalen. IJzer, koper, lithium en een scala aan zeldzame aardmetalen zijn namelijk nodig voor de productie van de benodigde windturbines, zonnepanelen, elektrolyscellen (electrolyzers), accu's, enzovoort. Dat maakt deze metalen tot kritieke materialen voor het slagen van de energietransitie, waarbij Nederland en de EU op dit moment vrijwel geheel afhankelijk zijn van aanvoer uit andere landen.

## **Bezorgdheid en perspectief**

In deze white paper uiten zeven onderzoekers van de Leiden-Delft-Erasmus universiteiten hun bezorgdheid over de realisatie van de energietransitie in de huidige geopolitieke context. Ze delen hun perspectief op de (on)toereikendheid van de markt en de werkelijke financiële en sociale kosten van het bereiken van grondstof-onafhankelijkheid. Ze benadrukken de urgentie tot actie om een impasse te voorkomen, waarbij ze lessen uit het verleden, mogelijkheden tot grondstofcirculariteit en een nieuwe financiële zienswijze aandragen als mogelijke oplossingen voor het bereiken van onze groene doelen.

# Samenvatting

In deze white paper zetten zeven wetenschappers uiteen hoe Nederland en de EU ervoor staan wat betreft de kritieke materialen die nodig zijn voor de energietransitie. Metalen als ijzer, koper, lithium en zeldzame aardmetalen moeten kolen, olie en aardgas vervangen. Een monumentale verschuiving, gevoelig voor verstoringen door bijvoorbeeld geopolitiek. De interviews laten zien hoe Europa tot een sterke, onafhankelijke en ethisch verantwoorde basis voor de energietransitie kan komen. Mijnen en raffineren op het eigen grondgebied, een circulaire benadering en nieuwe financieringssystemen vormen daarvoor de basis.

## 16 inzichten uit de interviews



### Dr. René Kleijn

1. De energietransitie is een overstap van fossiele brandstoffen naar metalen.
2. Om minder afhankelijk te worden van de invoer van grondstoffen, moet de EU haar eigen mijnbouw- en raffinageactiviteiten opzetten.
3. In de komende decennia is er een grote opbouw van materialen in de energie-infrastructuur, die we als EU goed zullen moeten beheren.



### Dr. Jojo Nem Singh

4. De EU kan er niet langer op vertrouwen dat de markt al haar grondstofproblemen zal oplossen.
5. Bij de strategische toegang tot zeldzame aardmetalen speelt ook de wil tot lokaal investeren een rol.



### Dr. Benjamin Sprecher

6. Naast mijnbouw is raffinage van materialen een bottleneck. Ook hierin is Europa te afhankelijk van met name China.
7. Miljardeninvesteringen zijn nodig om de energietransitie teweeg te brengen. In Nederland voor bijvoorbeeld schone staalproductie door Tata Steel; in Europa voor nieuwe mijnen en raffinage-industrie.
8. Als de overheid duidelijke voorwaarden stelt, bijvoorbeeld dat producten in de EU vervaardigd moeten zijn, gaat de industrie daarmee aan de slag.



### **Dr. David Peck**

9. Tijdens de Tweede Wereldoorlog werd aan veel criteria van een circulaire economie voldaan.
10. Er zijn beleidsmaatregelen nodig om de energietransitie te versnellen.



### **Prof. dr. Ester van der Voet**

11. Een groot deel van de voor de energietransitie benodigde materialen kunnen we halen uit wat nu de urban mine heet.
12. Als samenleving moeten nu al beginnen met het op industriële schaal organiseren van deze processen.



### **Prof. dr. Olindo Isabella**

13. De overgrote meerderheid van de op dit moment geïnstalleerde zonnecellen komt pas over twee decennia in aanmerking voor recycling.
14. We moeten zonnepanelen gaan produceren met een circulaire economie in ons achterhoofd, zodat we de hoeveelheid te recyclen materiaal zoveel mogelijk terugbrengen.



### **Dr. Ronald Huisman**

15. Vanuit economisch perspectief is de echte revolutie van de energietransitie dat de kosten voor energie en uitstoot naar nul gaan.
16. Aan de basis van de energietransitie liggen niet alleen grondstoffen en technische innovaties, maar ook vernieuwende financieringsmodellen.

## ***7 adviezen voor beleidsmakers***

1. Ga in Europa voor strategische autonomie voor grondstoffen.
2. Organiseer verantwoorde mijnbouw- en raffinage-activiteiten op eigen grondgebied.
3. Verminder de import van materialen en het gebruik van primaire bronnen.
4. Bevorder circulair productontwerp en hergebruik.
5. Stimuleer nieuwe groene oplossingen, zoals waterstof en biobased materialen.
6. Investeer in infrastructuur die nodig is voor de integratie van duurzame bronnen.
7. Zorg voor een decentraal toegankelijke energiemarkt.



# Summary

In this white paper, seven scientists set out where the Netherlands and the EU stand on the critical materials needed for the energy transition. Metals such as iron, copper, lithium and rare earths are to replace coal, oil and natural gas. A monumental shift, prone to disruption by geopolitics, for instance.

The interviews show how Europe can achieve a strong, independent and ethical basis for the energy transition. Mining and refining on European territory, a circular approach and new financing systems are the basis for this.

## 16 *insights* from the interviews



### Dr. René Kleijn

1. The energy transition is a switch from fossil fuels to metals.
2. The EU will have to build its own (urban) mining and refining operations to decrease its raw material dependency.
3. The EU will need to foster the materials that will accumulate in the energy infrastructure in the coming decades.



### Dr. Jewellord (Jojo) Nem Singh

4. The EU can no longer rely on market mechanisms to solve all its raw materials problems.
5. Strategic access to rare earth metals is also about the willingness to invest domestically.



### Dr. Benjamin Sprecher

6. Besides mining, materials refining is a bottleneck. In this, too, Europe is too dependent on China in particular.
7. Billions of investments are needed to bring about the energy transition. In the Netherlands, for instance, for clean steel production by Tata Steel; in Europe, for new mines and refining industry.
8. If the government sets clear conditions, e.g. that products must be manufactured in the EU, industries will comply.





### **Dr. David Peck**

9. Many criteria of a circular economy were met during World War II.
10. Some government policies are needed to increase the speed of the energy transition.



### **Prof. Ester van der Voet**

11. A good deal of the material resources needed for the energy transition can be found in what is now called the urban mine.
12. As a society, we must organize the processes to retrieve materials from the urban mine, on an industrial scale, and we need to start planning for that right now.



### **Prof. Olindo Isabella**

13. The vast majority of installed solar panels will not be up for recycling for at least the next two decades.
14. We need to start producing these panels with a circular economy in mind, minimising the amount of material that needs to be recycled.



### **Dr. Ronald Huisman**

15. From an economic perspective, the real revolution of the energy transition is that we will not have fuel nor emissions costs anymore.
16. To realise the energy transition, we need updated business models just as much as we need raw materials and technical innovation.

## ***7 recommendations for policymakers***

1. Go for strategic autonomy for raw materials in Europe.
2. Organise responsible mining and refining activities on European territory.
3. Reduce imports of materials and use of primary sources.
4. Promote circular product design and reuse.
5. Encourage new green solutions, such as hydrogen and bio-based materials.
6. Invest in infrastructure needed to integrate renewable resources.
7. Ensure decentralised access to the energy market.

English versions of the interviews are available at [leiden-delft-erasmus.nl](https://leiden-delft-erasmus.nl). Here you can also find an English-language pdf version of this white paper.











# #1 De energietransitie: een *monumentale* *verschuiving* van grondstoffen en beleid



RENÉ KLEIJN

 Universiteit Leiden

De energietransitie komt in essentie neer op overstappen van fossiele brandstoffen naar metalen, om windturbines en zonnepanelen te maken. Voor de aanvoer van die metalen is de EU te afhankelijk van met name China, signaleert René Kleijn. ‘Alle grote industrielanden strijden straks om dezelfde metalen, dat leidt tot geopolitieke spanningen.’ Door Hans Wetzels

Als het aankomt op het stoppen van klimaatverandering, dan is tijd de meest schaarse hulpbron, vindt universitair hoofddocent René Kleijn. ‘Het nieuwste rapport van het IPCC, de VN-Werkgroep Klimaatverandering, stelt dat de uitstoot van broeikasgassen uiterlijk in 2025 moet gaan afnemen,’ zegt hij. ‘Een monumentale uitdaging, waarvoor we alleen kunnen

slagen met doortastende politieke besluitvorming en grote investeringen in hernieuwbare energiebronnen. En daar moeten we nu meteen mee beginnen.’

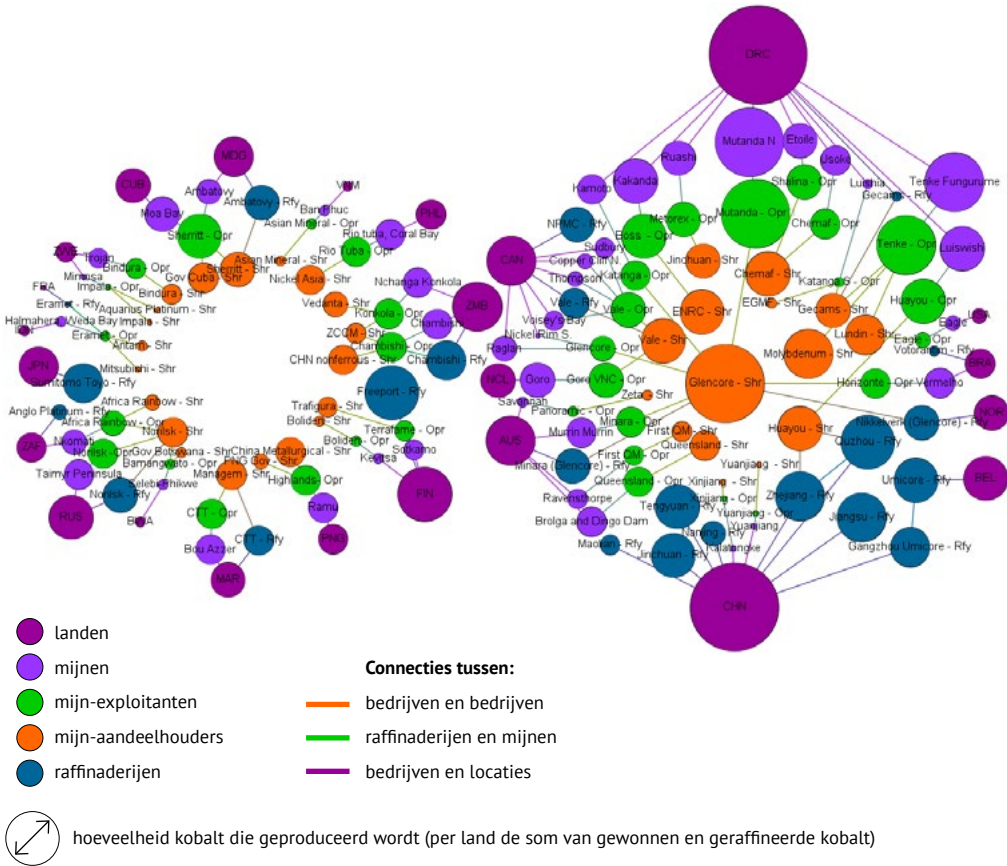
**Dr. René Kleijn** is universitair hoofddocent Industrial Ecology bij het Centrum voor Milieuwetenschappen (CML) van de Universiteit Leiden en voorzitter van de Circular Industries Hub van het LDE Centre for Sustainability, dat deze whitepaper initieerde.

Behalve dat deze transitie de uitstoot van broeikasgassen reduceert, zal ze ons op de lange termijn ook onafhankelijk maken van kolen, olie en gas. ‘De transitie naar wind- en zonne-energie, waterstof en batterijen is een fundamentele overstap van het continu winnen

van fossiele brandstoffen naar het beheren van een groot arsenaal aan windturbines en zonnepanelen,’ legt Kleijn uit. ‘In essentie is dit een overstap van fossiele brandstoffen naar metalen. De komende dertig jaar zullen we een grote verschuiving in de mijnbouw zien – van het winnen van kolen, olie en gas, naar het winnen van de metalen die we nodig hebben om dit arsenaal op te bouwen.’

### **Enorme hoeveelheden metaal nodig**

In zijn onderzoek richt Kleijn zich veelal op schaarste aan grondstoffen en de wereldwijde toeleveringsketens van bijvoorbeeld kolen, nikkel en zeldzame aardmetalen. Hij houdt nauwgezet bij waar de mijnen zich bevinden, wie de eigenaar is en welke landen en bedrijven de raffinage doen. Hij bestudeert de eigendomsstructuren van de grote industriële spelers.



Figuur: Identifying supply risks by mapping the cobalt supply chain. Resour. Conservation Recycl. 156, 104743 (2020).

Het toeleveringsnetwerk van kobalt in 2016. Links 11 kleine netwerken van bedrijven, rechts in één netwerk alle bedrijven die voor deze analyse zijn gebruikt.

‘We hebben enorme hoeveelheden staal nodig om de windturbines te bouwen en neodymium voor de magneten die de onderhoudsgevoelige versnellingsbak daarvan vervangen,’ zegt Kleijn. ‘Daarnaast ook grote hoeveelheden koper voor stroomkabels, en nikkel en lithium voor batterijen. En we zullen heel veel zonnepanelen moeten produceren, waarvoor materialen als silicium, zilver, indium en tellurium nodig zijn.’

### Schaarste en geopolitieke spanningen

Volgens Kleijn is er geen tekort aan winbare ertsen, maar zit het probleem erin dat het aanbod van deze metalen de snel toenemende vraag niet kan bijhouden. ‘Voor sommige metalen moet de wereldwijde opbrengst tegen 2050 met een factor twintig tot vijftig zijn toegenomen,’ zegt Kleijn. ‘En het kan wel

## ‘In essentie is de energietransitie een overstap van fossiele brandstoffen naar metalen’

---

twintig jaar duren voordat een nieuwe mijn operationeel is. Dit betekent dat alle grote industrielanden om dezelfde metalen strijden, wat tot geopolitieke spanningen leidt. Daarnaast zullen we ook in de geopolitieke macht zelf een verschuiving zien, omdat de voorraden metaal-ertsen niet in dezelfde landen liggen als waar nu kolen, olie en gas worden gewonnen.’

Op dit moment is China de belangrijkste producent van veel van deze materialen. Kobalt wordt in Congo gewonnen, maar vervolgens meteen naar China verscheept voor raffinage. Kleijn: ‘Het is onthutsend dat Europa zo weinig heeft geïnvesteerd in eigen raffinagecapaciteit. We zijn grotendeels tot volledig van andere landen afhankelijk – voor olie, kolen en gas, maar ook voor de hulpbronnen die we nodig hebben om de energietransitie te bewerkstelligen.’

### **Slim industrieel beleid**

Binnen het neoliberale paradigma is het dominante perspectief onder beleidsmakers dat ze de wereld door een globaliseringsbril bekijken. Zo bezien zijn internationale arbeidsdeling, specialisatie, competitie en internationale handel de aanjagers van productie-efficiëntie in een zichzelf regulerende mondiale markt. Maar het vergt wel degelijk overheidsbemoeienis om onafhankelijk van Russisch gas te worden, of om onze afhankelijkheid van zwaar vervuilende energiebronnen zoals kolen en olie te verminderen.

Kleijn: ‘Slim industrieel beleid kan zeker helpen bij het vervangen van de meest vervuilende industriële processen door schonere bronnen zoals waterstof. Kijk naar Tata Steel. Als het Nederlandse overheidsbeleid dit bedrijf aanmoedigt om op zee geproduceerde groene waterstof te gebruiken voor het produceren van groen staal, dan kan datzelfde staal meteen ingezet worden voor de bouw van meer windturbines.’

### **Green Deal kan keerpunt zijn**

De grensverleggende Green Deal die de Europese Commissie in december 2019 presenteerde, kan het keerpunt zijn voor industriebeleid om energie-onafhankelijk en koolstof-neutraal te worden. Maar in plaats van dwang vanuit Brussel zou Kleijn liever lokale gemeenschappen betrekken bij deze transitie. ‘Niemand wil een lithium-mijn in de achtertuin. En we moeten ook waarborgen dat de bedrijven die bij deze mijnbouw betrok-



## ‘Het is onthutsend hoe weinig Europa heeft geïnvesteerd in eigen raffinage-capaciteit’

---

ken zijn fatsoenlijke lonen betalen en volledige compensatie bieden aan degenen die hierdoor getroffen worden.’

Het is ook belangrijk om de voordelen te communiceren van de overstap. ‘We zijn veel minder afhankelijk van toevoer zodra we genoeg windturbines hebben gebouwd, zonnepanelen geïnstalleerd, batterijen gefabriceerd en op grote schaal waterstof kunnen produceren. Daarna doen gratis wind en zon de rest.’

### **Urgentiegevoel nodig**

‘Het vergt een gevoel van urgentie om deze visie te realiseren’, zegt Kleijn. ‘De oorlog in Oekraïne heeft ons laten zien dat de wereldwijde toeleveringsketens kwetsbaar zijn. Afhankelijkheid van één enkel land kan tot enorme prijsstommelingen leiden. Daarom moeten we onze belangrijkste aanvoerwegen diversifiëren.’ Lithium is bijvoorbeeld wereldwijd ruim beschikbaar, maar er zijn grote prijsstijgingen omdat de vraag veel sneller toeneemt dan de productie.

‘Om minder afhankelijk te worden van grondstoffen-invoer, moet de EU haar eigen mijnbouw- en raffinageactiviteiten opzetten. Het terugbrengen van onze consumptie heeft natuurlijk ook een hoge prioriteit, maar op dit moment is het nu eenmaal zo dat onze maatschappij draait op energie, mobiliteit en technologie. We moeten ons echt herbezinnen op waar we de komende decennia de benodigde grondstoffen vandaan willen halen.’



# #2 Mijnbouw in de EU is de *hoge prijs* waard



Foto: ISS

JOJO NEM SINGH

Erasmus Universiteit  
Rotterdam

Door zelf geen mijnen te ontwikkelen, blijft de EU afhankelijk van vooral China. Ook schuift ze zo alle nadelen door naar ontwikkelingslanden. Politicoloog Jojo Nem Singh pleit voor nieuwe mijnen in Europa, ook al vergt dat hoge en langdurige investeringen. 'Anders moeten metalen ergens anders worden gewonnen, onder slechtere omstandigheden.' Door Hans Wetzels

Zeldzame metalen spelen een belangrijke rol bij de technologie die de EU nodig heeft om energie-onafhankelijk te worden, en bij het realiseren van de politieke doelen zoals gesteld in de Green Deal van de Europese Commissie. De markt in deze metalen wordt op dit moment gedomineerd door China.

'Westerse landen worden zich er steeds meer van bewust dat ze niet langer totaal afhankelijk zouden moeten zijn van China', zegt Jojo Nem Singh.

**Dr. Jewellord (Jojo) Nem Singh** is universitair docent Internationale Ontwikkeling aan het International Institute of Social Studies van de Erasmus Universiteit Rotterdam.

### **Kosten eerlijker verdelen**

Nem Singh is in de Filipijnen geboren en heeft daarvoor een pragmatische kijk op de opkomst van China – vrijwel geheel gevrijwaard van de wereldwijde machtsstrijd die vaak de politieke debatten in de Europese hoofdsteden kleurt. In zijn artikel *Mining our way out of the climate conundrum* is het uitgangspunt dat de kosten van delfstoffenwinning eerlijker verdeeld moeten worden. Nem Singh: 'Om strategische onafhankelijkheid te bereiken, moet de EU inzien dat we onze productie en consumptie al jarenlang alleen aan China te danken hebben.'

Strategische autonomie betekent ook onafhankelijkheid van de Verenigde Staten, Rusland en Zuid-Afrika. 'We zijn zo gewend aan lage prijzen voor grondstoffen, elektronica en consumptiegoederen. Als Europa regionale toeleveringsketens wil opzetten, dan moeten we de werkelijke prijs daarvan in ogenschouw nemen. Europa zal haar eigen rol in de winning van delfstoffen voor de groene transitie moeten heroverwegen.'

## ‘Europa moet haar eigen rol in materiaalwinning voor de groene transitie heroverwegen’

---

### **Opofferingspolitiek**

‘Opofferingspolitiek’ is een toepasselijke term uit de economische geografie waarmee Nem Singh de ethische kwesties van dit beleid duidt. ‘Het delven van zeldzame metalen gaat gepaard met hoge sociale, milieu- en gezondheidskosten,’ zegt hij. ‘Er is altijd wel iemand, ergens, die hiervoor iets moet opofferen. En op dit moment wordt daar binnen de EU niet openlijk over gesproken. Met haar weigering om zelf de broodnodige mijnen te ontwikkelen, schuift de EU deze nadelige effecten door naar ontwikkelingslanden.’

‘De EU geloofde te lang dat marktmechanismen de economische voordelen en de milieu-nadelen zullen herverdelen en ook problemen als marktfalen zullen oplossen. In plaats daarvan moet de EU juist strikte regels opstellen wat betreft milieu en arbeidsomstandigheden. Daarnaast moet ze ook erkennen dat het belemmeren van nieuwe mijnbouwprojecten in Europa ertoe leidt dat metalen zoals kobalt, zeldzame aardmetalen en lithium ergens anders moeten worden gewonnen. Maar dan wel onder veel slechtere sociale, juridische en milieuomstandigheden.’

### **Ambitieuze doelen, moeizame besluitvorming**

Nem Singh ziet diverse dissonanties tussen de publieke perceptie en de realiteit van mijnbouw. De verwachting dat consumentenproducten goedkoper worden bijvoorbeeld, terwijl er tegelijkertijd steeds hogere ethische standaarden voor het productieproces gelden. De realiteit die Nem Singh daar tegenover ziet: de late reactie van de EU wat betreft grondstoffenonafhankelijkheid, de zeer ambitieuze politieke doelen van de Green Deal en de manier waarop EU-lidstaten beslissingen nemen over nieuwe mijnbouwprojecten op het eigen continent. ‘De complexiteit van het EU-besluitvormingsproces vormt een fundamenteel obstakel voor de groene transitie,’ zegt hij. ‘Kijk bijvoorbeeld naar het handelsbeleid. Dankzij haar directe beleidsbevoegdheid kan de Europese Commissie beleid opstellen dat voor alle lidstaten geldt. Maar mijnbouwbeleid is een nationale expertise en daardoor speelbal van lokale politieke discussies.’





Foto: Getty Images

## ‘De EU moet strikte ethische regels opstellen en zelf mijnen openen’

### Luxepositie, denkt de EU

Terwijl de klimaatcrisis voortraast, moet de EU allerlei zeldzame metalen zien te bemachtigen in markten waar China dominant is. ‘De EU denkt nog steeds in de luxepositie te verkeren dat het al die materialen kan vergaren in een efficiënte wereldmarkt waar grondstoffen tegen eerlijke prijzen verhandeld worden,’ zegt Nem Singh. ‘Maar nu politiek en economie steeds meer met elkaar verweven raken, klopt dat al lang niet meer. Landen zoals China, Brazilië en Zuid-Afrika weten dat westerse landen naarstig op zoek zijn naar zeldzame aardmetalen. China gebruikt zijn monopoliepositie om prijzen te beïnvloeden, eigen bedrijven te steunen en buitenlandse tegenhangers te verdringen. De Chinese overheid heeft bovendien geleerd hoe ze haar eigen verwerkingstechnologie moet ontwikkelen, waardoor ze op de middellange termijn een concurrentievoordeel heeft.’

**‘Mijnbouw gaat  
gepaard met  
hoge kosten,  
maar is  
van enorm  
strategisch  
belang’**

---

### **Een nieuw perspectief**

De ambitieuze doelen van de Green Deal kunnen tot positieve verandering leiden, omdat ze de politiek aansporen de discussie aan te gaan over wat nodig is. Nem Singh: ‘Wereldhandel is niet allesbepalend wat betreft de strategische toegang tot zeldzame aardmetalen. Ook de wil om te investeren in regionale toeleveringsketens speelt een heel belangrijke rol, met name voor de EU.’ Dit vereist een veranderde politieke instelling, omdat mijnbouw nu eenmaal gepaard gaat met hoge investeringen en hoge kosten: het vooruitzicht is tien jaar lang verlies leiden met daarbij voortdurend het risico van instortende prijzen, omdat de markt grillig is. ‘Dat zullen de EU-beleidsmakers aan de burger moeten uitleggen. Toegang tot grondstoffen is van zo'n groot strategisch belang, dat het marktperspectief niet langer leidend kan zijn.’





# #3 *Hoe de hazen (moeten) lopen rond kritieke metalen*



Foto: Barbara Verbij

**BENJAMIN SPRECHER**

 TU Delft



Hoe werkt de wereldwijde handel in metalen eigenlijk? Waar gaat het mis en hoe kunnen we deze keten accuraat in dienst stellen van de energietransitie? Industrieel ecooloog Benjamin Sprecher laat het zien. 'Nieuwe mijnen zijn belangrijk, maar bij de raffinage van metalen zit ook een bottleneck.' Door Rianne Lindhout

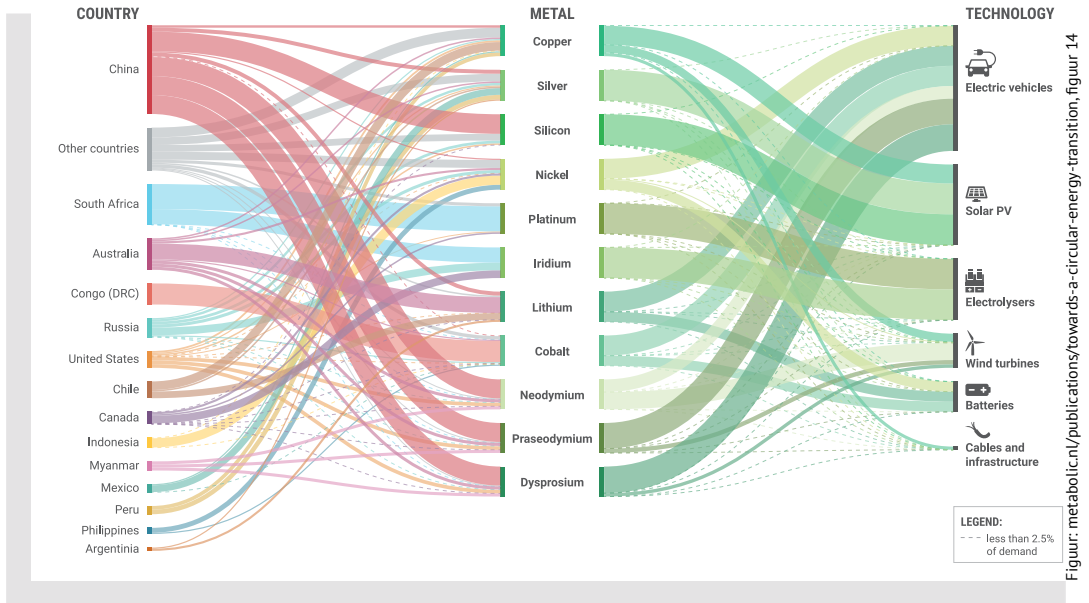
Het is overal te winnen, uit zeewater en zelfs graniet: lithium. Er is steeds meer van nodig, voor batterijen in met name elektrische auto's. Als je het overal vandaan kunt halen, waarom komt het dan voor het overgrote deel uit Australië, zoals te zien is in een schema van Benjamin Sprecher en collega's? Sprecher verdiepte zich de toeleveringsketens van metalen die nodig zijn voor de energietransitie. 'In Australië zijn van oudsher veel mijnbouwbedrijven actief. Het is een leeg land, alle ruimte voor mijnbouw dus. Er is een goed opgeleide beroepsbevolking en de wetgeving is minimaal.' Mijnbouwbedrijven hoeven daardoor geen rekening te houden met strenge milieuvorschriften en kunnen relatief goedkoop aan de slag. 'Op die manier is het historisch zo gegroeid dat Australië groot werd in lithium-winning.'

**Dr. Benjamin Sprecher** is universitair docent aan de faculteit Industrieel Ontwerpen van de TU Delft. Hij is expert op het gebied van de toeleveringsketen van kritieke metalen. In Delft onderzoekt hij hoe kwantificering van milieueffecten kan bijdragen tot duurzaam, circulair productontwerp.

### Race naar de bodem

Ook in Afrika kwamen op die manier veel mijnactiviteiten tot stand. Zeker, het continent is rijk aan grondstoffen. Maar dat er veel mensen beschikbaar zijn die voor weinig geld willen werken en dat regelgeving voor veiligheid en milieu nagenoeg ontbreekt, speelt ook een rol. 'Zo is een race naar de bodem ontstaan. De prijs die mensen nu bereid zijn te betalen voor de producten, is alleen haalbaar met goedkope mijnen. Zonder hightech en zonder netjes om te gaan met afval en met mensen.'

Hoe dat eruitziet? 'Ik was pas nog in Armenië. Daar zag ik enorme meren vol giftig afval rond kopermijnen.' Er gebeuren soms vreselijke rampen. In 2019 werd het Braziliaanse dorpje Brumadinho inclusief 272 inwoners [weggevaagd door een modderlawine](#): de berg opgestapeld afval uit de ijzermijn was gaan schuiven.



Figuur: [metabolic.nl/publications/towards-a-circular-energy-transition](https://metabolic.nl/publications/towards-a-circular-energy-transition), figuur 14

Huidige winning van de kritieke metalen die nodig zijn voor een duurzaam energiesysteem.

**‘Wat mensen nu bereid zijn te betalen, is alleen haalbaar met goedkope mijnen’**

### Schaalvoordeel

De grootste speler in de metaalwinning is China. Daar vertellen de hiervoor genoemde aspecten niet het hele verhaal. ‘China is vergeleken met andere landen erg goed geworden in het winnen en verwerken van metalen. In de jaren tachtig van de vorige eeuw startte de overheid onder slechte werkomstandigheden veel metaalindustrie op. De werkomstandigheden zijn inmiddels beter, maar het schaalvoordeel dat toen is opgebouwd, blijft.’

Europa lijkt wel met 3-0 achter te staan, terwijl we voor onze Green Deal veel meer metaal nodig hebben. ‘Behalve lithium is er in Europa simpelweg niet genoeg beschikbaar van de meeste metalen, al vind je in Zweden wel nog behoorlijk wat zeldzame aardmetalen.’ Sprecher las vlak voor het interview in het Financieele Dagblad dat een [oude mijn bij het Franse dorpje Échassières](#) mogelijk een aanzienlijke bron van lithium wordt, voldoende om jaarlijks 700.000 auto’s van batterijen te voorzien. De lokale bevolking lijkt positief te staan tegenover de plannen van de Franse mijnbouw-multinational Imerys.

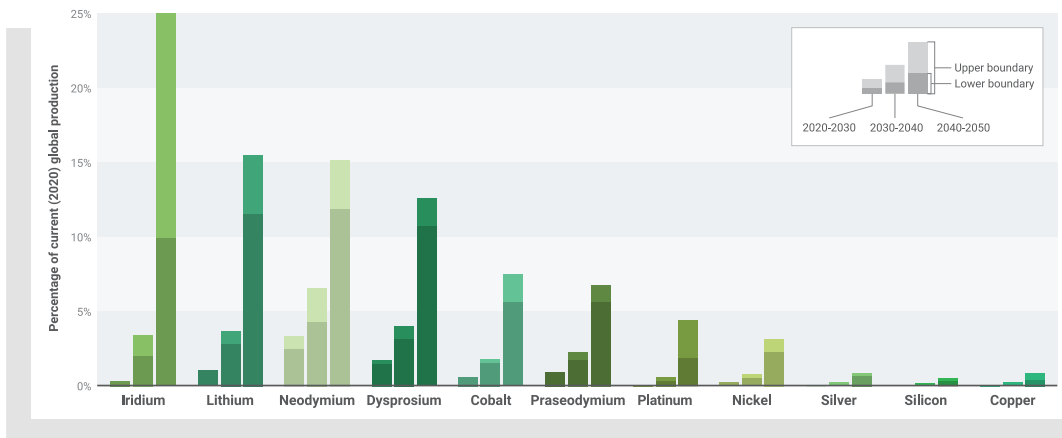
## 'Ik was pas nog in Armenië. Daar zag ik enorme meren vol giftig afval'

De weg van procedures en voorbereiden is nog lang en er is ook nog die race naar de bodem om mee af te rekenen. Mens en milieu sparen en toch concurreren met bestaande Australische lithium-mijnen? Sprecher volgt het met belangstelling. 'Ik hoop dat het lukt, op een sociale en schone manier en met de Europese overheidssteun die nodig is. Eigen Europese mijnbouw is belangrijk, enerzijds om te laten zien dat het netjes gedaan kan worden en anderzijds om minder gevoelig te worden voor geopolitieke spanningen. Ook is méér mijnbouw essentieel om het tempo van de energietransitie op te voeren.'

### Raffinage ligt óók vooral bij China

Met alleen meer en verantwoorde mijnbouw zijn we er nog niet. Sprecher: 'Een nog groter probleem is raffinage, de verwerking van de erts en metalen via complexe chemische processen. Ook hierbij is het China die door gerichte investeringen het beste in staat is om bijvoorbeeld miljoenen lithium-batterijen te produceren. In Europa hebben we hier tot nu toe weinig in geïnvesteerd.'

Met lede ogen ziet Sprecher aan hoe de discussies aan verlopen rond bijvoorbeeld de giftige uitstoot van staalfabriek Tata Steel in IJmuiden. 'Natuurlijk wil je niet naast zo'n fabriek wonen. Maar we willen ook niet afhankelijk zijn van China.' Is het kiezen



Figuur: [metabolic.nl/publications/towards-a-circular-energy-transition](https://metabolic.nl/publications/towards-a-circular-energy-transition), figuur 13

Verwachte jaarlijkse vraag als percentage van de huidige mondiale productie.

tussen twee kwaden? Nee, er is een andere manier. 'Nieuwe, schone technologie staat klaar! Het kost alleen wel een paar miljard om die in gebruik te nemen. China doet dat gewoon, maar hier is de uitkomst van de discussie misschien wel dat de fabriek verdwijnt en we alsnog afhankelijk worden van het buitenland voor staalproductie.'

### **Een miljard meer of minder**

Een miljard meer of minder leek nauwelijks een rol te spelen toen er coronasteun nodig was in 2020. Of toen de overheid tijdens de financiële crisis in 2008 de banken Fortis en ABN Amro opkocht voor bijna 17 miljard euro. Dit soort doortastende miljardeninvesteringen dienden in het verleden meestal om een status quo te behouden. Nu moeten ze plaatvinden om juist een verandering teweeg te brengen, en dat lijkt moeilijker te liggen.

Sprecher hoopt dat schone staalproductie door Tata Steel, en ook nieuwe mijnen en raffinage-industrie in Europa, toch de miljarden aan overheidssteun zullen krijgen nodig zijn om de energietransitie voor elkaar te kunnen krijgen. 'Het netwerk van mijnbouwbedrijven, handelshuizen en de London Metal Exchange – inderdaad, een soort bloemenveiling van Aalsmeer, maar dan voor wereldwijde metaalhandel – heeft nu te veel last van varkenscycli. Dat gebeurde bijvoorbeeld met lithium. Ongeveer tien jaar geleden investeerden marktpartijen er veel in, omdat ze voorzagen dat de vraag zou stijgen vanwege de opkomende markt voor elektrische auto's.' De vraag viel uiteindelijk toch tegen, waarop de prijs kelderde. 'Nu er wél meer vraag is, blijft het aanbod achter omdat marktpartijen zich niet weer willen branden aan grillig overheidsbeleid.'

### **Nu loopt het stroomnet vast**

'Het is heel moeilijk alle actoren in de rij zo op elkaar af te stemmen dat vraag en aanbod in evenwicht zijn', zegt Sprecher. 'Als één partij niet meedoet, houdt het op en zijn anderen voor niets gaan investeren. Zo [durfde de Nederlandse Marktautoriteit \(ACM, red.\) het niet aan](#) om de stroomnetcapaciteit uit te breiden. Nu loopt daardoor het net vast op het groeiend aantal zonnepanelen.'

## ‘Als de EU eist dat materialen uit Europa komen, gaat de industrie aan de slag’

---

We hebben helder industriebeleid nodig, concludeert Sprecher, in de vorm van financiële steun en harde toezeggingen over regelgeving. ‘Europa kan eisen dat producten kwalitatief goed zijn, dat ze milieuvriendelijke gefabriceerd zijn, maar ook dat materialen uit Europa moeten komen. Dan gaat de industrie zorgen dat dat ook gebeurt.’ Dan komen er wel botsende belangen, voorziet hij. Burgers zullen ageren tegen de komst van een nieuwe mijn of fabriek. ‘Schone technologie, goede werkomstandigheden en het belang van deze industrie op Europees grondgebied, moeten het toch mogelijk maken.’



Foto: Momy Lim/Flickr

De London Metal Exchange is het wereldcentrum voor de handel in industriële metalen.



# #4 **Materiaaltekort:** *lessen uit* **de Tweede** *Wereldoorlog*



DAVID PECK

 TU Delft

Toen de aanvoer van grondstoffen in de Tweede Wereldoorlog halveerde, trad de Britse regering krachtig op. In zijn proefschrift analyseerde David Peck strategieën als reactie op grondstoftekorten.

‘We kunnen veel leren van hoe overheden deze problemen in het verleden te lijf gingen.’ Door Karst Oosterhuis

**Dr. David Peck** is universitair hoofdocent aan de Faculteit Bouwkunde van de TU Delft. Hij is gespecialiseerd in kritieke materialen en circulair productontwerp.

Tijdens de Tweede Wereldoorlog worstelden veel landen met grote tekorten aan materialen omdat de wereldmarkt en de toeleveringsketens flink verstoord waren. Tussen 1940 en 1944 zorgde de gerichte aanval op transportschepen ervoor dat de aanvoer van goederen naar het Verenigd Koninkrijk met de helft afnam. ‘De technologie en de geopolitieke situatie van die tijd waren compleet anders dan nu, net als het soort grondstoffen waaraan een tekort was’, zegt Peck. ‘Je kunt zeggen dat elke vergelijking hierdoor mank gaat. Maar we moeten ons realiseren dat specifieke materialen letterlijk een tijdperk kunnen definiëren: denk bijvoorbeeld aan de steentijd en de bronstijd.’

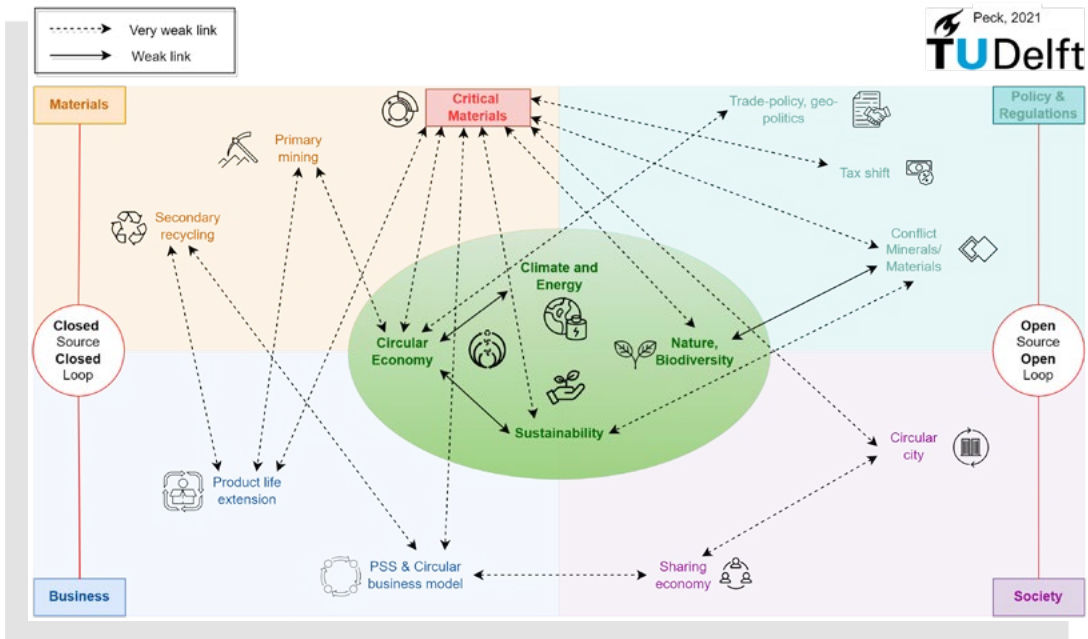
### **Verbruik gehalveerd in twee jaar**

Het verleden kan ook als voorbeeld dienen voor de urgentie van de huidige uitdagingen. Peck: ‘In 2030 wil Europa zowel het grondstoffenverbruik als de koolstofemissies met 50 procent hebben teruggebracht. Het Verenigd Koninkrijk heeft dat toen in twee jaar klaargespeeld, dus we kunnen er zeker wat van leren.’

Voor zijn promotieonderzoek keek Peck niet naar de productie van wapens, maar juist naar gewone producten zoals kleding, aardewerk en meubels. ‘In de oorlog hadden arbeiders nog steeds een bed nodig om in te slapen, een tafel om aan te zitten en een bord om van te eten. Dit waren daarom essentiële producten tijdens de oorlog.’

### **Verplichte productie-licentie**

Peck was vooral geïnteresseerd in de beleidsmaatregelen van de Britse overheid waarmee ze in vrijwel alle productie intervenueerde. ‘Een productie-licentie was verplicht en commerciële



Figuur: David Peck/Elise Blondel

Zwakke en zeer zwakke koppelingen tussen belangrijke dimensies van kritieke materialen en de circulaire economie.

bedrijven werkten onder overheidscontracten. Om er zeker van te zijn dat de economie zou blijven draaien, besloot de regering wat wel en niet mocht worden ontworpen en geproduceerd.’

De Britse overheid nam de volledige controle over, waarmee ze de structuur van vraag en aanbod volledig veranderde. Ze stelde zes hoge beleidsmakers aan met daarnaast zes fabrikanten die elk verantwoordelijk waren voor bepaalde industriële sectoren. Peck: ‘Met zijn twaalfen kwamen ze bij elkaar en besloten ze: dit is wat we hebben, dit is wat we willen maken, en dit zijn de benodigde stappen om dat voor elkaar te krijgen. De productie van niet-essentiële producten kwam volledig tot stilstand.’

**Zuinig en toch stijlvol**

In een normale markt produceert men in overeenstemming met de wensen van de kopers. Maar tijdens de Tweede Wereldoorlog had in het Verenigd Koninkrijk een kleine groep ontwerpers de taak om tot de meest efficiënte ontwerpen te komen, voor bijvoorbeeld minimalistische meubels. ‘Het moest goedkoop zijn, op basis van weinig en bij voorkeur lokaal te winnen materiaal, en het moest eenvoudig te produceren zijn’, zegt Peck. ‘Niemand wist hoe lang de oorlog zou duren, dus alles moest

## ‘De Britse regering bepaalde volledig wat wel en niet mocht worden geproduceerd’

---

heel lang mee kunnen gaan. Sommige stoelen zijn nog steeds collectors items, omdat ze zo stevig gebouwd zijn.’ De regering verspreidde ook zogenoemde ‘make do and mend’ pamfletten met nuttige tips voor huisvrouwen over hoe ze zuinig en toch stijlvol konden zijn in tijden van rantsoenering.’

### Terughoudend vanwege weerstand

Voor Peck zijn er duidelijke parallellen met de oorlog in Oekraïne, omdat ook dit conflict ons dwingt om kritisch naar de wereldwijde toeleveringsketens te kijken. ‘Een belangrijk verschil is dat de private sector bij de huidige transitie het voortouw neemt, aangemoedigd door de overheid,’ zegt hij. ‘Tijdens de Tweede Wereldoorlog nam de staat de leiding, bijgestaan door de private sector.’ Hij snapt de terughoudendheid van politici om in te grijpen, omdat ze op weerstand kunnen rekenen van zowel de private sector als burgers. ‘De beleidsmaatregelen kunnen misschien best wat minder draconisch zijn dan toen, maar we moeten wel degelijk – net als toen – snel en daadkrachtig handelen. We kunnen niet zonder een of andere gecentraliseerde vorm van controle.’

Op beleidsniveau is de interesse in kritieke materialen groter dan ooit tevoren. Peck is vaak geïnterviewd door Nederlandse media. ‘Het gaat de juiste kant op, maar niet snel genoeg. De toeleveringsketens van kritieke materialen zijn extreem dynamisch en complex. Er staan nog duizenden vragen open, terwijl de wetenschappers die hierin gespecialiseerd zijn gemakkelijk in een enkele overlegruimte passen. We hebben een tekort aan onderzoekscapaciteit.’



De degelijke Britse meubelontwerpen uit de Tweede Wereldoorlog zijn nog altijd in gebruik als *utility furniture*.

# #5 Grondstoffen uit *afval* en je *broekzak*: urban mining



Foto: Barbra Verbij

ESTER VAN DER VOET

 Universiteit Leiden



Van de telefoon in je broekzak die je ooit afdankt tot gasleidingen in de grond: ze bevatten waardevol en herbruikbaar materiaal. Ester van der Voet onderzoekt de urban mine. 'In een echte circulaire economie hoef je geen enkele nieuwe mijn meer te openen, omdat alle benodigde materialen uit de samenleving terug te winnen zijn.' Door Hans Wetzels

**Prof. dr. Ester van der Voet is hoogleraar Duurzaam Grondstofgebruik bij het Centrum voor Milieuwetenschappen (CML) van de Universiteit Leiden.**

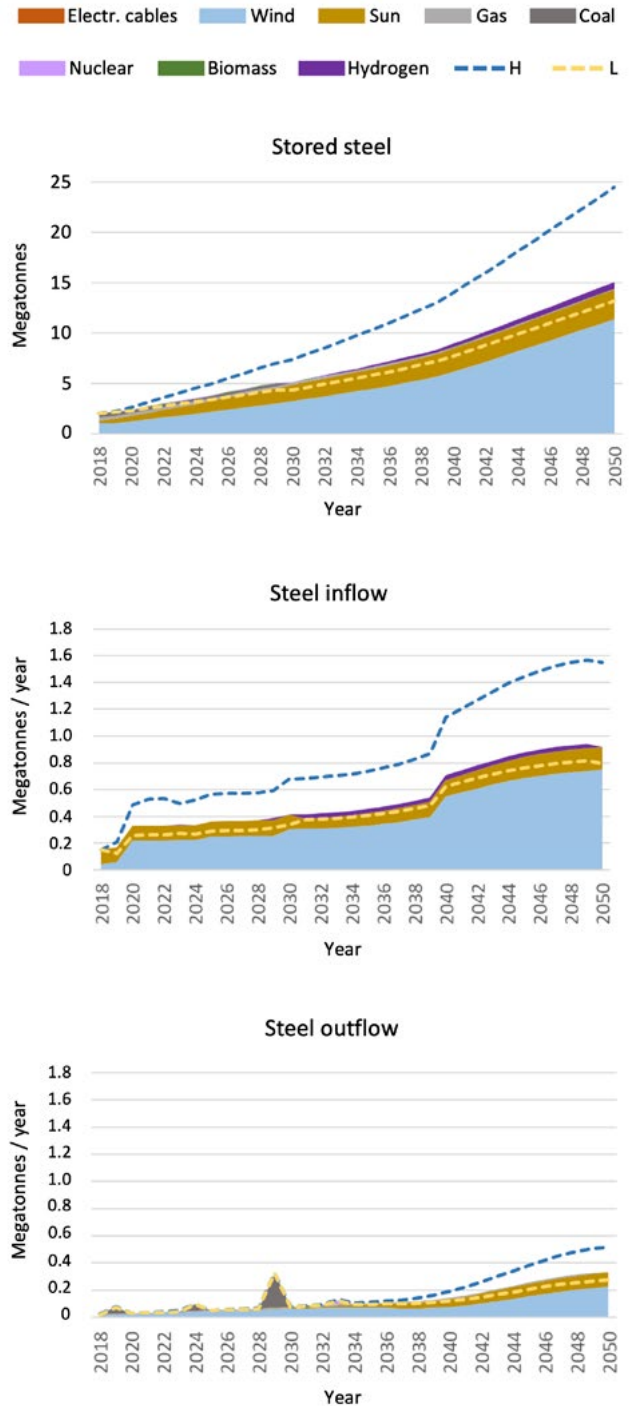
De hele samenleving is een belangrijke bron van grondstoffen. We hoeven veel minder materiaal uit mijnen te halen, als we de urban mine beter zouden benutten. 'Het bedrijf Umicore is een goed voorbeeld hiervan,' zegt Ester van der Voet, hoogle- raar duurzaam grondstofgebruik. 'Het had een discutabele reputatie toen het nog mijnbouw bedreef in Congo. Maar nu opereren ze vanuit de haven van Antwerpen, waar ze telefoons, laptops en industrieel afval recyclen tot nuttige materialen. In een echte circulaire economie zou je geen enkele nieuwe mijn meer hoeven te openen omdat alle benodigde materialen uit de samenleving terug te winnen zijn.'

### **Berekend hoeveel er is terug te winnen**

Van der Voet en haar team hebben berekend hoeveel grondstoffen er uit een grootschalig energienetwerk terug te winnen zijn – bijvoorbeeld uit elektriciteitskabels en het gasnetwerk. En nu werken ze op verzoek van het Planbureau voor de Leefomgeving aan een officiële inventarisatie van de omvang van de Nederlandse urban mine. 'We kunnen nuttige materialen winnen uit meubels en uit consumentenproducten zoals auto's en elektronica. We kunnen van elk van deze producten berekenen hoeveel recyclebaar materiaal ze bevatten. Dit gaan we dan hergebruiken, in plaats van weer een mijn te openen.'

### **Scheelt veel energie**

'Het energienetwerk van een land bevat heel veel staal, koper en aluminium dat we kunnen hergebruiken zodra de kabels en pijpleidingen worden vervangen,' zegt Van der Voet. 'Zo hoeven we niet telkens nieuwe grondstoffen te delven. Het bespaart ook veel energie, omdat bij mijnbouw grote machines enorme



Figuren: [www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/science/cm/publicaties/pdf/rapporten/scenarios\\_elektricitessysteem\\_final.pdf](http://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/science/cm/publicaties/pdf/rapporten/scenarios_elektricitessysteem_final.pdf)

Het mediane scenario voor de hoeveelheid staal die in het Nederlandse elektriciteitssysteem is opgeslagen, die benodigd is (inflow) en eruit beschikbaar zal komen (outflow).

## ‘Het energie-netwerk bevat heel veel bruikbare metalen’

---

hoeveelheden gesteente afgraven voor – verhoudingsgewijs – een klein beetje metaal. Ook het verwerken van het gedolven erts is een energie-intensief proces. Om bijvoorbeeld bauxiet tot aluminium te verwerken, moet je de sterke chemische binding tussen aluminium en zuurstof openbreken. Waarom zou je dat doen als je bestaand aluminium kunt hergebruiken?’

Urban mining is wat moeilijk als oplossing te verkopen, omdat de meeste producten waaruit materialen teruggewonnen kunnen worden nu nog in gebruik zijn. ‘Het komt erop neer dat we geld moeten investeren in grondstoffen die pas over enkele decennia beschikbaar komen,’ legt Van der Voet uit. ‘Maar we weten wat de levensduur van de onderliggende producten is en daar kunnen we nu al mee plannen.’ Ze heeft al verschillende scenario’s ontwikkeld voor de hoeveelheid materiaal die tegen 2050 beschikbaar komt. Van der Voet: ‘Vooral tijdens grote veranderingen, zoals de huidige energietransitie, worden veel systemen vervangen: raffinaderijen, installaties voor de gasproductie, olietankers, gaspijpleidingen, noem maar op.’

### Kopersmelterij

De urban mine is ongetwijfeld een waardevolle bron van grondstoffen, maar er is nog veel onderzoek nodig om dit ook allemaal te bewerkstelligen. ‘We moeten zorgvuldig afwegen hoe en op welke schaal we de terugwinning gaan organiseren, en hoe we de verwerking van deze materialen inrichten,’ zegt Van der Voet. ‘Het is niet haalbaar, of wenselijk, om in elke stad een kopersmelterij neer te zetten. Het zou ook heel naïef zijn om van volledige zelfvoorzienendheid uit te gaan. Als samenleving moeten nu beginnen met het op industriële schaal organiseren van deze processen.’

## ‘We kunnen nu al plannen hoeveel materiaal er in de toekomst beschikbaar is’

---

Essentieel voor duurzaam, circulair grondstofgebruik is een beter ontwerp van producten, zodat het eenvoudiger is om ze uit elkaar te halen en de materialen te hergebruiken. ‘Het gaat erom hoe de materialen met elkaar verbonden zijn, tot op het chemische niveau aan toe,’ zegt Van der Voet. ‘Zo is staal vaak een legering. Er worden andere elementen aan toegevoegd, waardoor bijvoorbeeld de hittebestendigheid hoger is. Als je staal kunt ontwikkelen met dezelfde hittebestendigheid, waarbij je dan rekening houdt met de verschillende smeltpunten van de diverse metalen, dan kun je de benodigde energie voor scheiding ervan alvast meenemen. Dit zou zowel de kwaliteit van het staal kunnen verbeteren als de herbruikbaarheid ervan.’

#6 **Het zonnepaneel  
van de toekomst  
kun je  
wél recyclen**



OLINDO ISABELLA

 TU Delft



De meeste zonnepanelen die nu in gebruik zijn, gaan nog zeker twintig jaar mee. Daarna is er een probleem: je kunt ze niet netjes uit elkaar halen om nieuwe panelen te maken. Opto-elektronicus Olindo Isabella werkt aan oplossingen. 'Als de explosieve groei aanhoudt, gebruikt de zonnepanelen-industrie tegen 2050 ruim de helft van de wereldwijde mijnbouwcapaciteit aan zilver.' Door Merel Engelsman

**Prof. dr. Olindo Isabella** is hoogleraar Photovoltaic Technologies and Applications aan de Faculteit Electro-techniek, Wiskunde en Informatica van de TU Delft.

In 2021 nam de capaciteit voor het opwekken van zonne-energie in Nederland met 30 procent toe tot 11,4 miljard kWh. Dat komt overeen met 67 vierkante kilometer aan geïnstalleerde zonnepanelen (PV: solar photovoltaics). Wereldwijd is zelfs meer dan 6000 vierkante kilometer aan zonnepanelen geïnstalleerd.

Dat is een hoop materiaal dat hergebruikt kan, en zal moeten, worden. Maar het is niet nu meteen beschikbaar. 'Zonnepanelen hebben een technische levensduur van 25 tot 30 jaar,' zegt Olindo Isabella. 'De overgrote meerderheid van deze panelen, meer dan 85 procent, is de afgelopen vijf jaar geïnstalleerd. Op dit moment zijn er slechts heel weinig oude zonnepanelen die het einde van hun levensduur hebben bereikt.'

### **Zonnecellen in beschermend laminaat**

Het is handig om onderscheid te maken tussen de materialen die gebruikt worden in de zonnecellen – de opto-elektronische apparaten die zonlicht in elektriciteit omzetten – en de module daaromheen, het object dat je op je dak legt. De module is een assemblage van zonnecellen verzegeld in een beschermend laminaat. Daaromheen een aluminium frame met glas aan de voor- en achterkant, dat voor mechanische stijfheid zorgt en de zonnecellen tegen weersomstandigheden beschermt.

'De zonnecellen van nu bestaan grotendeels uit silicium – het halfgeleidermateriaal dat zonne-energie in elektriciteit omzet – met een coating van contactpunten op basis van aluminium.'

## ‘Het recyclen van nu komt neer op vermalen en daarna de oven in’

---

zegt Isabella. ‘Er is ook wat zilver verwerkt in de soldeerbare rasterpatronen waarmee de opgewekte zonnestroom wordt verzameld.’

### **Twee architecturen**

Er zijn twee zonnecel-architecturen die in de nabije toekomst dominant kunnen worden. Een daarvan, heterojunction genoemd, maakt gebruik van doorzichtige lagen indium-oxide gedoopt in wolfram of tin. ‘Van al deze materialen zijn zilver en indium de meest kritieke,’ zegt Isabella. ‘Als de explosieve groei van zonnepanelen aanhoudt, tot in de terawatt productiecapaciteit, dan gebruikt de PV-industrie tegen 2050 meer dan de helft van de wereldwijde mijnbouwcapaciteit aan zilver. En voor indium concurreren we met de platte beeldschermtechnologie benodigd voor televisies, laptops en telefoons.’

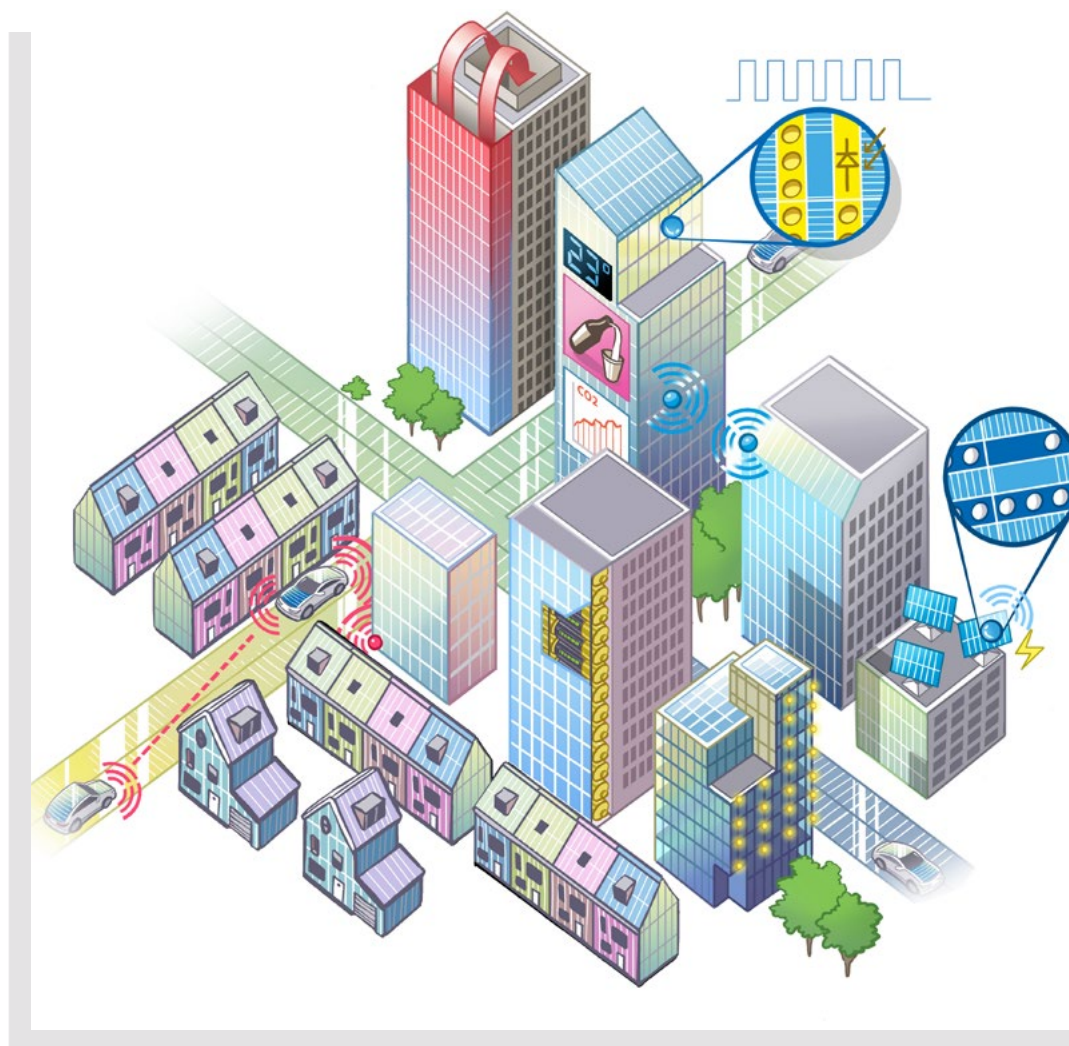
### **Sandwichconstructie**

Om het recycling-proces beter te begrijpen, helpt het om in te zien dat zonnepanelen een sandwichconstructie zijn van glas, plastic, dan de zonnecellen, weer plastic, en als laatste een kapsel (of glas) om het geheel tegen vocht te beschermen. Alle lagen gezamenlijk gaan een lamineerapparaat in, waar het plastic smelt en zo alles sealt.

Isabella: ‘Het is heel moeilijk om dit plastic van de rest te scheiden. De huidige techniek voor het recyclen van PV komt erop neer dat de panelen eerst tot millimeter-grote brokjes worden vermalen. Deze gaan een hete oven in, waar het plastic eraf wordt gebrand. Bij deze temperatuur zullen de metalen – in het bijzonder het zilver en aluminium – een legering vormen met het silicium, waardoor deze bijna niet meer te scheiden zijn. Bij heterojunction zonnecellen maakt de aanwezigheid van indiumoxide het nóg moeilijker om de verschillende materialen terug te winnen.’

Waar het aluminium van het frame dus eenvoudig gescheiden kan worden, en het glas teruggewonnen, geldt dat juist niet voor de kritieke materialen zilver en indium. En het vergt meerdere thermische en chemische scheidingsstappen om het silicium te zuiveren tot het kan worden hergebruikt.

Gezien de complexiteit en de kosten van recyclen, en de grilligheid van de grondstoffenmarkten, is het niet verwonderlijk dat



Figuur: [tudeft.nl/2020/ew/photovoltaics-slimme-zonnecellen-die-met-elkaar-praten](http://tudeft.nl/2020/ew/photovoltaics-slimme-zonnecellen-die-met-elkaar-praten)

Als we elk geschikt oppervlak met circulaire zonnecel-systemen bedekken, kunnen we het elektriciteits-gedreven energienetwerk van de toekomst creëren. Zonnecel-systemen met geïntegreerde opslag en communicatie kunnen als intelligente energie-agenten werken. Ze kunnen de hele conversie-keten omvatten – van fotonen naar elektronen naar bits. Ze markeren het begin van het fotovoltaïsche tijdperk.

er wereldwijd slechts een paar bedrijven zijn die nuttige grondstoffen uit zonnepanelen terugwinnen. 'Het recyclen van PV staat echt nog in de kinderschoenen,' zegt Isabella. 'Op dit moment bestaat onze beste verdediging tegen grondstoftekorten uit het verminderen van de hoeveelheid aan kritieke materialen die we in PV gebruiken. Wereldwijd wordt hier veel onderzoek naar gedaan.'

### **Minder afhankelijk van kritieke materialen**

Een eerste onderzoeksrichting hierbij is de overstap van eenzijdige (mono-facial) zonnecellen naar tweezijdige (bi-facial) zonnecellen waarbij ook op de achterkant van het paneel zonlicht naar stroom omzet. Isabella: 'Afhankelijk van de installatiedetails kan de totaalopbrengst per paneel hiermee tot 30 procent hoger uitvallen. Het betekent ook dat de volledige laag aluminium aan de achterzijde van de zonnecel wordt vervangen door een rasterpatroon, waardoor het materiaalgebruik afneemt.' Een tweede onderzoeksrichting is om het aluminium en zilver van de contactpunten te vervangen door koper. 'Er is meer dan genoeg koper en het kan bijna overal ter wereld worden gewonnen. Dat verkleint de kans op geopolitieke wrijving.'

Voor de zonnepanelen met indium die in opkomst zijn, proberen onderzoekers van het TU Delft PV Technology Centre het indiumgehalte tot een fractie terug te brengen. Anderen onderzoeken of het indium in deze laag te vervangen is door een legering zonder indium. Het lukt al goed om zonnepanelen met een dunnere laag indium te maken. 'Het zal even duren voordat deze ontwikkelingen hun weg vinden naar commerciële zonnepanelen,' zegt Isabella. 'Behalve dan het verdunnen van de indium-laag: dat kan al op industriële schaal.'

Wat ook helpt is de levensduur van zonnepanelen vergroten door ze slim te maken. 'Wij noemen dit photovoltaionics,' zegt Isabella. 'Door een kleine printplaat toe te voegen kan het vermogen van de zonnecellen op elkaar afgestemd worden als een deel daarvan in de schaduw ligt en een deel niet. Dit vergroot zowel de energieopbrengst als de levensduur van het zonnepaneel, met name voor PV in een stedelijke omgeving.'



## ‘Onze beste verdediging tegen grondstoftekorten is nu: minder kritieke materialen gebruiken’

---

### Zonnepaneel zonder plastic

Maar hoe lang ze ook meegaan, uiteindelijk zal elk zonnepaneel het einde van de levensduur bereiken. Dat maakt circulariteit een onderwerp waar hoe dan ook aandacht aan besteed moet worden. ‘We beginnen dit nu te onderzoeken en evalueren, in onze eigen onderzoeksgroep en in de PV-gemeenschap als geheel,’ zegt Isabella. ‘Het vergroten van de recycleerbaarheid door geen plastic meer te gebruiken is slechts één stap. We moeten zonnepanelen gaan produceren met een circulaire economie in ons achterhoofd, zodat we de hoeveelheid te recyclen materiaal zo veel mogelijk terugbrengen.’


Het duurt nog jaren voordat de ideeën daarvoor ook daadwerkelijk toegepast worden, omdat deze eerst getest moeten worden met het oog op betrouwbaarheid van de zonnecellen – zowel in het lab als daarbuiten. Isabella: ‘Het zou een totale verandering betekenen in hoe de industrie zonnepanelen produceert.’



# #7 Financiering is ook een *grondstof* voor de *energietransitie*



**RONALD HUISMAN**

 Erasmus Universiteit  
Rotterdam

Behalve al die materialen uit de aarde, moet ook het geld anders gaan stromen om de energietransitie te realiseren. Energiemarkt-expert Ronald Huisman ziet kansen om een duurzaam energiesysteem sneller concurrerend te maken met de fossiele industrie. ‘Maar we lijken te vergeten dat we ook moeten investeren in de opslag van energie, zoals batterijen en waterstof.’ Door Hans Wetzels

**Dr. Ronald Huisman** is universitair hoofddocent aan de Erasmus School of Economics in Rotterdam. Hij is gespecialiseerd in het functioneren van energiemarkten.

Zonder grondstoffen is het onmogelijk om de windturbines en zonnepanelen te produceren die het hart van de energietransitie vormen. Continue innovatie zorgt ervoor dat deze energiebronnen steeds goedkoper, efficiënter en duurzamer worden, en dat ze soepel in het bestaande energienetwerk kunnen worden geïntegreerd. Dat alles heeft natuurlijk een financieel aspect; geld speelt een belangrijke rol bij de energietransitie. Dat is het specialisme van econoom Ronald Huisman. ‘Als de Europese Unie de gestelde emissiereductie-doelen wil halen, moet dat met nieuwe financiële mechanismen die ervoor zorgen dat geld naar duurzame ontwikkelaars en bedrijven stroomt.’

### **Kosten gaan naar nul**

Vanuit economisch perspectief is het interessantste aspect van de energietransitie dat de kosten voor energie en uitstoot naar nul gaan, volgens Huisman. ‘Dat is de werkelijke revolutie. Maar er zijn enorme investeringen nodig om dat te bereiken. En op dit moment stroomt de benodigde financiering niet altijd de juiste kant op.’

In zijn onderzoek analyseert Huisman zowel prijsvormingsmechanismen als de verwachte rendementen op investeringen. Hij is ervan overtuigd dat een duurzaam energiesysteem sneller een concurrerend alternatief zal zijn als we de financiering ervan heroverwegen. ‘Vergeet niet dat de olieprijs in 2007 en 2008 in minder dan zes maanden tijd daalde van 140 dollar naar 40 dollar per vat,’ zegt hij. ‘In april 2020 hadden we zelfs even een negatieve olieprijs. De rendementen op fossiele brandstoffen zijn helemaal niet zo hoog meer.’

**‘Op dit moment stroomt de benodigde financiering niet altijd de juiste kant op’**

---

**Winst én positieve impact**

Het gevolg hiervan is dat er onder grote investeringsfondsen, zoals Blackrock, een trend is om over te stappen op zogenoemde impact investments – waarbij het niet alleen om winst draait, maar ook om het genereren van een positieve, meetbare sociale en milieu-impact. Huisman: ‘Maar grote institutionele beleggers, die verantwoordelijk zijn voor de pensioenen van miljoenen mensen, verwachten natuurlijk nog altijd bepaalde rendementen.’

Huisman is ervan overtuigd dat de duurzame productie van energie op termijn de overhand zal krijgen ten opzichte van het verbruiken van olie, kolen en gas. ‘Tot op zekere hoogte is het aan overheden om deze transitie te versnellen,’ zegt hij. ‘Niet alleen door subsidiëring van hernieuwbare industrieën, maar ook door het functioneren van energiemarkten tegen het licht te houden.’

Op dit moment dient met name het voorspelde energieverbruik als input voor het berekenen van hoe winstgevend de energiemarkt is en, daarmee, of investeerders een aanzienlijk rendement kan worden gegarandeerd. ‘Duurzame producenten van energie hebben die luxe niet, omdat energie uit zon en wind gratis is,’ zegt Huisman. ‘Maar ze zouden bijvoorbeeld contracten kunnen sluiten op basis van een vaste vergoeding en daarmee de banken overtuigen dat ze winst zullen maken.’

**Investeer ook in energie-opslag**

Huismans interesse in doelgericht investeren reikt verder. ‘We moeten ook kritisch bekijken hoe we investeringen verdelen over de verschillende technologieën die voor de energietransitie nodig zijn,’ zegt hij. ‘Op dit moment ligt de focus op het uitrollen van zonne- en windenergiecapaciteit – waarbij de overheid mensen aanmoedigt te investeren in zonnepanelen. Maar we lijken te vergeten dat we ook moeten investeren in de benodigde korte- en langetermijnopslag van energie, zoals batterijen en waterstof. Zonder deze opslag zullen we op zonnige dagen een flink energieoverschot hebben dat we nergens kunnen opslaan voor later gebruik.’



### Ook kleine investeringen doen ertoe

Volgens Huisman vergt het herverdelen van investeringen een andere instelling van de financiële sector. 'Op dit moment kost het startups veel moeite om leningen aan te trekken,' zegt hij. 'Kijk bijvoorbeeld naar het ontwikkelen van een nieuw type batterij. Dat vergt een te kleine investering om interessant te zijn voor een grote bank.' Huisman zou daarom graag zien dat de financiële sector modellen ontwikkelt voor kleinere energie-initiatieven.

**'We moeten ook investeren in energie-opslag, zoals batterijen en waterstof'**

---



Successen zijn er ook. Deze waterstof-bromide-batterij kan stroom uit windparken en zonneweides opslaan. Het Arnhemse bedrijf Elestor ontwikkelde de batterij en bouwt nu een fabriek. Geld komt hoofdzakelijk van private investeerders; vanuit overheden zijn EIT InnoEnergy (EU) en Invest-NL betrokken.







# Verder lezen

## #1 De energietransitie: een monumentale verschuiving van grondstoffen en beleid René Kleijn

Van den Brink, S., Kleijn, R., Sprecher, B. & Tukker, A. [Identifying supply risks by mapping the cobalt supply chain](#). Resources, Conservation and Recycling, Volume 156, 104743 (2020), doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104743

Patrahau, I., Singhvi, A., Rademaker, M., van Manen, H., Kleijn, R. & van Geuns, L. [Securing Critical Materials for Critical Sectors. Policy options for the Netherlands and the European Union](#). HCCS Geo-Economics, The Hague Centre for Strategic Studies, december 2020

[Ensuring access to the raw materials for the European Green Deal: A European Call for Action](#). European Raw Materials Alliance (ERMA), 30-09-2021

[Who's set to win and lose from the green energy revolution?](#) The Economist, 30-03-2022

## #2 Mijnbouw in de EU is de hoge prijs waard Jewellord Nem Singh

[Developmental States beyond East Asia](#), edited By Jewellord Nem Singh and Jesse Salah Ovadia. Routledge, december 2018

[Resource Governance and Developmental States in the Global South](#), edited by Jewellord Nem Singh and France Bourgouin. Palgrave MacMillan, november 2013

Jewellord Nem Singh, [Mining Our Way Out of the Climate Change Conundrum? The Power of a Social Justice Perspective](#). Wilson Center, oktober 2021

[Critical Materials for the Energy Transition: Rare Earth Elements](#). International Renewable Energy Agency, 18-05-2022

[The EU's risky dependency on critical Chinese metals](#). Deutsche Welle, 15-04-2022

### #3 Hoe de hazen (moeten) lopen rond kritieke metalen

Benjamin Sprecher

Sprecher, B. et al. [Framework for Resilience in Material Supply Chains, With a Case Study from the 2010 Rare Earth Crisis](#). Environ Sci Technol 49, 6740–6750 (2015)

Sprecher, B. et al. [Novel Indicators for the Quantification of Resilience in Critical Material Supply Chains, with a 2010 Rare Earth Crisis Case Study](#). Environ Sci Technol 51, 3860–3870 (2017)

Sprecher, B., Reemeyer, L., Alonso, E., Kuipers, K. & Graedel, T. E. [How “black swan” disruptions impact minor metals](#). Resour Policy 54, 88–96 (2017)

[The transition to clean energy will mint new commodity superpowers](#). The Economist, 26-03-2022

### #4 Materiaaltekort: lessen uit de Tweede Wereldoorlog

David Peck

Peck, D. [A Historical Perspective of Critical Materials: 1939 to 2006](#). World Sci Ser Curr Energy Issues 85–101 (2019)

Cimprich, A. et al. [The role of industrial actors in the circular economy for critical raw materials: a framework with case studies across a range of industries](#). Mineral Econ 1–19 (2022)

Bakker, C., Hollander, M. den, Peck, D. & Balkenende, R. [Circular Product Design: Addressing Critical Materials through Design](#). World Sci Ser Curr Energy Issues 179–192 (2019)

[Recyclen-de-luxe](#). NRC 28-07-2012



## #5 Grondstoffen uit afval en je broekzak: urban mining

Ester van der Voet

Deetman, S., Boer, H. S. de, Engelenburg, M. V., Voet, E. van der & Vuuren, D. P. van. [Projected material requirements for the global electricity infrastructure – generation, transmission and storage](#). Resour Conservation Recycl 164, 105200 (2021)

Oorschot, J. van, Sprecher, B., Roelofs, B., Horst, J. van der & Voet, E. van der. [Towards a low-carbon and circular economy: Scenarios for metal stocks and flows in the Dutch electricity system](#). Resour Conservation Recycl 178, 106105 (2022)

[In Nederland liggen de tweedehands grondstoffen voor het opgraven. Waarom gebeurt dat \(nog\) niet?](#) De Volkskrant, 25 november 2022

## #6 Het zonnepaneel van de toekomst kun je wél recycelen

Olindo Isabella

Han, C. et al. [Controllable Simultaneous Bifacial Cu-Plating for High-Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells](#). Sol Rrl 2100810 (2022)

Han, C. et al. [Towards bifacial silicon heterojunction solar cells with reduced TCO use](#). Prog Photovoltaics Res Appl (2022)

Ziar, H., Manganiello, P., Isabella, O. & Zeman, M. [Photovoltaics: intelligent PV-based devices for energy and information applications](#). Energ Environ Sci 14, 106–126 (2020)

Calcabrini, A. et al. [A fully reconfigurable series-parallel photovoltaic module for higher energy yields in urban environments](#). Renew Energ 179, 1–11 (2021)

[De toekomst van 'solar everywhere'](#). tudelft.nl

[Circulariteit, op weg naar 2050?](#) Chapter 'Solar Energy', edited by P. Luscuere, published by TU Delft Open (2018)

[TU Delft: 'We creëren cluster dat meer balans brengt op weg naar zelfvoorzienend Europa'](#). Solar Magazine 31-03-2022

## #7 Financiering is ook een grondstof voor de energietransitie

Ronald Huisman

Koolen, D., Huisman, R. & Ketter, W. [Decision strategies in sequential power markets with renewable energy](#). Energy Policy 167, 113025 (2022)

Huisman, R. & Stet, C. [The dependence of quantile power prices on supply from renewables](#). Energy Econ 105, 105685 (2022)

Huisman, R., Kyritsis, E. & Stet, C. [Fat Tails due to Variable Renewables and Insufficient Flexibility: Evidence from Germany](#). Energy J 43, (2022)

[Hoe lang zal de energieprijz extreem hoog blijven?](#) MeJudice 15-11-2021

[De hele wereld duikt ineens in waterstof](#). NRC 22-04-2022

[Waarom huishoudens in de kou zitten, terwijl grote bedrijven profiteren van de lage gasbelasting](#). Nederlands Dagblad 22-02-2022

# Colofon

Deze publicatie is een uitgave van de Leiden-Delft-Erasmus Centre for Sustainability Circular Industries Hub. Op [centre-for-sustainability.nl](https://centre-for-sustainability.nl) staan alle interviews in Nederlands en Engels, evenals een pdf van deze white paper in het Nederlands en Engels. Wilt u een of meerdere teksten overnemen, neem dan contact op met het Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML), Elise Blondel: [Ide\\_cfs@cml.leidenuniv.nl](mailto:Ide_cfs@cml.leidenuniv.nl).

Januari 2023

## Centre for Sustainability

Het Centre for Sustainability is een van de multidisciplinaire onderzoekscentra van de strategische alliantie Leiden-Delft-Erasmus Universities. Deze alliantie is opgericht in 2012 door de Universiteit Leiden, de TU Delft en de Erasmus Universiteit Rotterdam. [centre-for-sustainability.nl](https://centre-for-sustainability.nl).

**Leiden-Delft-Erasmus**  
Universities



**Wetenschappelijke coördinatie**

Dr. Elise Blondel en dr. René Kleijn.

**Teksten**

Merel Engelsman (Simplifai),  
Rianne Lindhout, Karst Oosterhuis en  
Hans Wetzels.

**Eindredactie en projectcoördinatie**

Katja Hoiting en Rianne Lindhout.

**Opmaak**

Ontwerpwerk, Den Haag

**Druk**

VanDeventer, 's-Gravenzande

