

Wat als alles straks op is?

Het wereldwijde grondstoffenprobleem

China werkt zich in economisch opzicht razendsnel omhoog. En dat zorgt voor een wereldwijd tekort aan belangrijke grondstoffen, die we gebruiken in allerlei technologische apparatuur. Zitten we straks allemaal zonder mobieltjes, auto's en computers? Als we zo doorgaan wel: al over 50 jaar.

Tekst André Kessler en Merel Segers

Eindelijk kwam er eens goed nieuws uit het land. In een interview liet generaal David H. Petraeus, commandant van het United States Central Command in Afghanistan weten: "Het potentieel is ongelooflijk. Er zijn uiteraard nog een hoop onzekerheden, maar ik denk dat dit van groot belang is." Petraeus doelde daarmee op het nieuws dat een klein team van Pentagonmedewerkers en Amerikaanse geologen in de Afghaanse bodem enorme hoeveelheden ijzer, koper, goud, kobalt, lithium en nog veel meer kostbaarheden had gevonden. Volgens goede Amerikaanse traditie werd er meteen met allerlei cijfers gegooid. De totale waarde van de voorraden zou volgens sommige deskundigen wel eens op kunnen lopen tot 1 biljoen dollar, waarmee het land een van de belangrijkste grondstoffenleveranciers ter wereld zou worden. De Afghaanse regering vond dat schijnbaar nog een beetje aan de magere kant en kwam juichend met schattingen van 3 biljoen dollar. De nuchterheid kwam redelijk snel terug. Want weten dat er grondstoffen zitten, wil nog niet zeggen dat je die ook naar boven kunt halen. Maar als de Taliban zich gedragen en er investeerders kunnen worden gevonden die het risico aandurven, is de vondst goed nieuws voor het land dat een bruto nationaal product van slechts 8 miljard euro heeft. Ter vergelijking: Nederland 'doet' 527 miljard euro en de VS hebben een bnp van omgerekend rond de 9500 miljard euro. Maar de Afghaanse bodemschatten kunnen óók van grote betekenis zijn voor de rest van de wereld. Sterker nog: we zullen ze hard nodig hebben. Niet alleen olie en gas raken namelijk op (zie 'Het laatste zwarte goud', KJK 10/2010) – als we sommige deskundigen mogen geloven, zijn we ook bezig aan de laatste restjes belangrijke grondstoffen. Denk aan goud, ijzererts en koper, maar bijvoorbeeld ook aan lithium (gebruikt in onder andere batterijen en medicijnen), kobalt (belangrijk als katalysator in de chemische industrie) en platina (voor de productie van kunstmest en explosieven en de raffinage van ruwe olie). André Diederik werkt bij TNO Defensieonderzoek in Rijswijk en waarschuwt al jaren voor naderende tekorten. In het rapport *Metal minerals scarcity* schrijft hij: "Als we blijven uitgaan van het idee van aanhoudende economische groei, krijgen we te maken met een tekort aan goedkope en veelvoorkomende metaalmineralen."

China verandert in rap tempo in een zwart gat waarin allerlei grondstoffen verdwijnen

Een van de belangrijkste oorzaken voor die tekorten is de economische groei van China, dat daardoor in rap tempo verandert in een zwart gat waar allerlei grondstoffen in verdwijnen. Het

TNO-rapport Strategy & change signaleert: “In 2000 was de Europese Unie verantwoordelijk voor 25 procent van de mondiale economische output, Amerika voor 23 procent en China voor 7 procent. Naar verwachting ligt de situatie rond 2030 compleet anders: China scoort 19 procent, Amerika 16 procent en de EU 15 procent.”

Naast China timmeren landen als Brazilië, Rusland en India op economisch gebied flink aan de weg. Alles bij elkaar zorgt dat voor een grote vraag naar allerlei metalen, waarbij hetzelfde geldt als bij olie en gas: alle makkelijk winbare voorraden zijn inmiddels gevonden en worden grotendeels al ontgonnen. Dat wil niet zeggen dat er geen metalen en mineralen meer in de bodem zitten; er is wereldwijd nog zat ijzererts, lithium, kobalt of platina. Maar de centrale vraag is: wat kost het om het naar boven te halen?

Goud poepende microben

Goud is een goed voorbeeld. In elke kubieke meter zeewater zit een paar microgram van dat gewilde edelmetaal. Je hebt het dan over ppt, parts per trillion ofwel delen per biljoen (een miljoen keer een miljoen). Gemiddeld zijn dertien van de biljoen deeltjes zeewater gouddeeltjes. Dat is erg weinig, maar aangezien zeewater nogal ruim voorhanden is, wordt de gezamenlijke waarde van al het goud in de oceanen geschat op 10 biljoen dollar. Geen wonder dus dat daar met gretige ogen naar wordt gekeken. Zo werd er onderzoek gedaan naar een methode waarbij genetisch gemanipuleerde microben het zeewater opnemen en het goud vervolgens in minieme hoeveelheden uitpoepten. En in de jaren zeventig probeerden de Japanners rijk te worden door het zeewater op te pompen en door speciale membranen te persen. Dat werd een fiasco, want het oppompen en verwerken kostte veel meer dan het goud waard was. Een ander voorbeeld zijn de mangaanknollen die in alle oceanen te vinden zijn. Op sommige plaatsen is 70 procent van de bodem hiermee bedekt. De knollen zijn daar in de loop van miljoenen jaren ‘gegroeid’ en bestaan voor een groot deel uit een ijzer- en mangaanoxide, maar er zit ook een groot aantal andere metalen en elementen in. Het zou dus interessant kunnen zijn om ze naar boven te halen en er onder meer het koper uit te halen. Ter vergelijking; het erts dat uit de vorige jaar ingestorte

Chileense kopermijn wordt gehaald, bestaat voor 0,5 procent uit koper. De knollen, met grofweg het formaat van een aardappel, bevatten 1 procent koper. Toch lukt het, ondanks talloze pogingen die in de afgelopen decennia werden ondernomen, maar niet om ze op een economisch verantwoorde manier te winnen.

In een Toyota Prius zit 1 kilo van het zeldzame neodymium en zelfs 10 à 15 kilo lanthanium

Zelfs als de grondstoffen op het vaste land voorkomen, is het vaak een hele uitdaging om ze te winnen. Jack Voncken werkt als geoloog aan de Technische Universiteit Delft. “Grote metaal-

en mineraalvoorraden, zoals die in Afghanistan, liggen vaak in afgelegen gebieden. Daar moeten wegen naartoe, er moeten huizen gebouwd voor de arbeiders, energievoorzieningen aangelegd... Een mijn beginnen betekent een enorme investering en die doe je niet als je dat spul ergens anders heel goedkoop kunt krijgen. Nu China heel veel materialen zelf gaat gebruiken, zal dat veranderen. Veel dingen zullen schaarser worden.” Diederik ziet een direct verband tussen energieschaarste en het dreigende gebrek aan grondstoffen. “In het verleden kwamen waarschuwingen voor het schaarser worden van grondstoffen vaak niet uit, omdat er voldoende energie beschikbaar was uit fossiele brandstoffen. Telkens als de winning van een metaal achterbleef bij de vraag en de prijs steeg, was dat een prikkel om armere ertsen te gaan exploiteren. Die exploitatie werd pas rendabel bij die hogere prijs en op die manier werd de hoeveelheid winbare ertsen naar boven bijgesteld. De absolute grootte van de voorraden is niet zo interessant, het gaat juist om de vraag hoeveel hiervan per jaar tegen welke kosten in productie kan worden genomen. Het winnen van metalen uit ertsen kost enorm veel energie. Hoe lager de ertsgraad, hoe meer energie het kost om een bepaalde hoeveelheid metaal te produceren. Hogere energiekosten leiden dus tot hogere metaalprijzen.”

Rare elementen

De Europese Commissie ziet de bui inmiddels ook hangen en bestempelde afgelopen zomer veertien belangrijke grondstoffen als ‘kritisch’. Niet zozeer omdat ze schaars zijn, maar wel omdat ze van groot belang zijn voor onze welvaart en om bijvoorbeeld de overstap naar duurzame energie te kunnen maken. Op de lijst staan onder meer grafiet, magnesium, kobalt, wolfram en enkele van de zogenoemde zeldzame aardmetalen ofwel rare earth elements (REE). Om de laatste is momenteel veel te doen. Het gaat om een groep van zeventien metalen die voor 93 tot 97 procent (afhankelijk van wie je gelooft) uit China komen. Voncken: “Zeldzame aardmetalen is eigenlijk een verkeerde benaming, want ze zijn vaak allerm minst zeldzaam. In ons eigen duinzand komt bijvoorbeeld yttrium voor. Alleen niet in geconcentreerde hoeveelheden en dus is het economisch niet interessant om het eruit te halen.” Die REE zitten in veel van de hightech apparatuur die ons moderne leven zo prettig maken. Europium zorgt bijvoorbeeld voor de rode kleur in televisie- en computerbeeldschermen. Holmium is onmisbaar voor bepaalde laserapparatuur en wordt gebruikt in nucleaire installaties. Erbium is van groot belang voor het versturen van data over lange glasvezellijnen. Een van de meest gewilde REE is neodymium. Een legering van neodymium, ijzer en borium levert een magneet op die, in tegenstelling tot zijn ‘soortgenoten’, ook bij hoge temperaturen zijn werk blijft doen. In een Toyota Prius zit bijvoorbeeld 1 kilo neodymium, maar ook nog eens 10 tot 15 kilo lanthanum (in de batterijnodes). En in een beetje windturbine gaat al gauw ruim 1000 kilo REE. Maar alles bij elkaar verdwijnen de meeste zeldzame aardmetalen, zo’n 25 procent van de vraag, in katalysatoren voor motorvoertuigen en wordt 23 procent ingezet bij de raffinage van ruwe olie.

Win-winsituatie

Vroeger werden de zeldzame aardmetalen vooral gewonnen in Australië en in de Mountain Passafzetting ten zuiden van Las Vegas. Maar halverwege de jaren tachtig begon Japan zich ermee te bemoeien. Het land kon ertsen met zeldzame aardmetalen omzetten tot eindproduct,

maar had zelf geen voorraden. Daarom hielpen de Japanners China om een mijn te starten in de Bayan Oboafzetting waar, zo bleek later, maar liefst 70 procent van alle bekende REE-reserves

ter wereld te vinden zijn. De deal was simpel. Japan hielp de Chinezen met het ontwikkelen van zuiveringsmethoden om de zeldzame aardmetalen uit de ertsen te winnen. In ruil hiervoor leverde China regelmatig grondstoffen aan Japan, en dan vooral de zeldzame aardmetalen. Een win-winsituatie voor China en Japan dus. In de jaren die volgden, slaagde China erin de productiemethoden te verfijnen en steeds meer zeldzame aardmetalen te winnen. Volgens de laatste cijfers werd er in 2008 wereldwijd ongeveer 135.000 ton zeldzame aardmetalen 'verbruikt'. China produceerde in dat jaar 139.000 ton. Er is dus een klein overschot, maar als de vraag jaarlijks met gemiddeld 9 procent blijft stijgen – zoals tussen 2000 en 2009 gebeurde – ontstaat er een tekort. Voncken: "De waarde van de REE loopt sterk uiteen. Eén van de goedkoopste, cerium, kost als oxide tussen de 2,5 en 3 euro per kilo. Europium- en lutetiumoxide

kosten tussen de 370 en 405 euro per kilo. Ter vergelijking: de prijs van ruwijzer ligt ergens tussen de 15 en 37 eurocent per kilo." China produceerde intussen zo goedkoop dat het andere mijnen kapot concurreerde. Met de Bayan Oboafzetting in Binnen-Mongolië beschikt het land over de grootste bekende REE-voorraden ter wereld en het was altijd bereid om die voor een lage prijs te exporteren. Tot de Volksrepubliek in 2008 besloot om de export van zeldzame aardmetalen drastisch te beperken. De prijs van de REE schoot omhoog. Neodymium, dat behalve in Toyota's Prius bijvoorbeeld ook in harde schijven en iPodkoptelefoons wordt gebruikt, knalde van een bescheiden 14 euro naar 59 euro per kilo. Het Westen was in één klap wakker – en in paniek. Ineens drong het besef door hoe afhankelijk we waren geworden van de nukken van China.

In de tang

"Het verbaast me hoe de wereld het zo ver heeft laten komen", zegt Max van der Zwet. Deze specialist in de verkrijgbaarheid van zeldzame aardmetalen windt zich flink op over het feit dat China de wereldproductie van REE beheerst. "Tegenwoordig timmert China hard aan de weg om net zo'n enorme consumptiemaatschappij te worden als de westerse landen. En ja, dan hebben ze ze de metalen zelf nodig. De Chinezen hebben een andere mentaliteit. Ze denken: we kijken eerst wat we zelf nodig hebben en de rest exporteren we. Daarmee houden ze niet-Chinese bedrijven die de metalen willen gebruiken in de tang." Het lijkt haast alsof China van de situatie geniet: het land heeft er veel voor over om zijn monopoliepositie te behouden. Zodra iemand waar dan ook besluit om een nieuwe mijn te openen, gooit China de prijzen van de zeldzame aardmetalen omlaag, waardoor nieuwe mijn eigenlijk meteen al ten dode is opgeschreven. Maar Van der Zwet ziet ook lichtpuntjes: "Op dit moment openen allerlei oude mijnen, onder andere in Australië en Amerika, opnieuw hun deuren." Het openen van een oude mijn is stukken goedkoper dan een nieuwe mijn starten. Zelfs al gooit China de prijzen omlaag, blijft dit economisch aantrekkelijk. Jammer is alleen dat het minstens twee jaar duurt voordat de heropende mijnen daadwerkelijk zeldzame aardmetalen produceren. Ook Voncken denkt dat het met de zeldzame aardmetalen uiteindelijk wel goed komt. "Je ziet nu dat voorraden in Canada, Noordwest-Australië en Brazilië in productie worden genomen. Over een jaar of vier zijn die op gang gekomen en dan is het probleem – althans voorlopig – opgelost."

Stortplaatsmijnen

Voorlopig inderdaad, want als de economische groei doorzet, kun je op je klompen aanvoelen dat er na verloop van tijd weer een nieuw tekort dreigt. Simpelweg hopen dat de techniek niet stilstaat en bedrijven wel een vervanger voor bepaalde zeldzame aardmetalen zullen vinden, lijkt niet verstandig.

'De concentratie zeldzame metalen in oude stortplaatsen blijkt hoger te zijn dan in een mijn'

Daarom blijven alle deskundigen pleiten voor matiging en meer recycling. Van der Zwet: "Wij hebben de kennis en het geld om de zeldzame aardmetalen te recyclen, zodat de afhankelijkheid van de metaalproducerende landen afneemt. Maar ook bij het terugwinnen van zeldzame

aardmetalen geldt dat het alleen economisch verantwoord is als ze in grote hoeveelheden in een product zitten. Er zijn een hoop producten waaruit ze niet terug te winnen zijn, zoals halogeenautolampen. Maar dat wordt in de toekomst misschien anders, wanneer onderzoekers betere recyclingmethodes hebben ontwikkeld." Het probleem is dat ook hergebruik pas interessant wordt als de prijs van bepaalde grondstoffen stijgt. In tussentijd is het misschien verstandig om, in afwachting daarvan, bepaalde goederen op te slaan. In een interview met het weekblad TU Delta zegt Diederik: "Een mooi voorbeeld is platina. De helft daarvan komt al uit recycling, omdat de primaire productie allang niet meer aan de vraag kan voldoen. In een recyclingfabriek in Antwerpen worden bijvoorbeeld printplaten gerecycled en katalysatoren van auto's. Van het platina en palladium daarin wordt meer dan 97 procent terug gewonnen. Een land als Nederland, dat vrijwel geen eigen metaalwinning kent, zou nog meer moeten recyclen dan het nu doet. Sterker nog, het kan zinvol zijn om afvalstromen waarvan we nu nog niet weten hoe we die moeten recyclen, toch alvast maar op te slaan." Eigenlijk zou je al het afval moeten screenen op metalen, betoogt Diederik: "Er is al een eerste internationale conferentie geweest over landfill mining (winning uit stortplaatsen – red.) Dat zegt toch wel iets. En in Duitsland heb je een bedrijf dat de rechten wil kopen om een oude vuilstortplaats te ontginnen. Dat bedrijf is geïnteresseerd in plaatsen waar in de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw elektronisch afval is gedumpt. Daar zitten grote onderdelen in die relatief veel zeldzame metalen bevatten.

Er zijn al proefboringen gedaan, en de concentratie van die metalen blijkt hoger te zijn dan in een moderne mijnbouwoperatie."

Naast stortplaatsen kunnen ook andere afvalbergen interessant zijn. Voncken: "Bij veel mijnen

is afgegraven materiaal te vinden dat een te lage concentratie van een bepaald metaal of mineraal had om het te kunnen verwerken. Door de gestegen prijzen kan het lucratief zijn om die alsnog te gebruiken. Bovendien zijn de technieken verbeterd, zodat materiaal dat vroeger niet bruikbaar was, alsnog kan worden verwerkt.”

Volgens de meeste deskundigen moet Europa snel handelen. China, dat schijnbaar veel verder vooruitdenkt, heeft al maatregelen genomen om de grondstoffen die het de komende tientallen jaren verwacht nodig te hebben, veilig te stellen. Zo stortte het land ruim 2500 miljard euro in een zogenoemd sovereign wealth fund, waarmee aan de lopende band allerlei belangrijke buitenlandse mijnen en verwerkingsfabrieken worden opgekocht. Het zal ongetwijfeld niet lang meer duren voor er een Chinese delegatie op pad gaat om een fijn bod te doen op de ‘nieuwe’ Afghaanse reserves.

André Kessler en Merel Segers spraken voor dit artikel met Max van der Zwet, specialist in de verkrijgbaarheid van zeldzame aardmetalen en Jack Voncken, geoloog aan de TU Delft. Verder gebruikten zij onder andere de volgende literatuur:

- > Koen Lauwers: *Zeldzame aardelementen niet zeldzaam Effect* (23 januari 2010)
 - > Leendert van der Ent: *Europa. Muurbloem in de wereldwijde dans om metalen TNO Magazine* (oktober 2010).
 - > Jos Wassink: *Afvalberg als goudmijn TU Delta* (6 januari 2010)
 - > Maarten Legius: *Beschikbaarheid van 14 grondstoffen kritiek PT Industrieel Management* (augustus/september 2010)
 - > James Risen: *U.S. Identifies vast mineral riches in Afghanistan The New York Times* (13 juni 2010)
 - > Matthieu Aikins: *The treasure of the Safit Chir Popular Science* (september 2010)
- Zie ook www.kijk.nl/artikel/grondstoffen

Niet-zeldzame zeldzame aardmetalen

Scandium (Sc) is lastig te isoleren (de wereldproductie is slechts 2000 kilo per jaar) en wordt weinig toegepast. Het meeste scandium wordt gebruikt in aluminiumlegeringen voor de luchtvaartindustrie en in hoogrendementslampen.

Niet iedereen rekent scandium overigens tot de zeldzame aardmetalen.

Yttrium (Y) wordt vooral gebruikt in de auto-industrie, in materialen die het brandstofverbruik verlagen. Andere toepassingen zijn microgolfcommunicatieapparatuur, bepaalde lasers en frequentie- en magneetveldmeters. Ook yttrium wordt niet door iedereen als zeldzaam aardmetaal beschouwd.

Lanthanium of lanthaan (La) is belangrijk voor de petroleumraffinage. Oplaadbare lanthaan-nikkel-hydride (La-Ni-H) batterijen worden steeds belangrijker in bijvoorbeeld computer- en communicatieapparatuur. In de batterijen van een Toyota Prius zit minimaal 10 kilo lanthanium.

Cerium (Ce) is het meest voorkomende zeldzame aardmetaal: 0,0046 procent van de aardmantel bestaat eruit. Ceriumoxide wordt gebruikt om zwaveloxide-uitstoot te verkleinen. Verder wordt het aan diesel toegevoegd en gebruikt bij de productie van glas.

Neodymium (Nd) is een cruciaal bestanddeel van specifieke, permanente magneten. Mobiele telefoons, cd-spelers, computers en de meeste moderne geluidssystemen zouden niet bestaan zonder neodymiummagnetten. De sterkste permanente magneet is een legering van neodymium, ijzer en borium.

Praseodymium (Pr) wordt gebruikt als (gele) kleurstof in de glasindustrie. Verder wordt het samen met neodymium ingezet om bepaalde golflengten van licht te filteren, maar ook in permanente magneten en in katalysatoren van verbrandingsmotoren.

Promethium (Pm) is een instabiel element dat in de natuur nauwelijks voorkomt. Het wordt in nucleaire installaties gebruikt als bron van bètastraling voor het uitvoeren van diktebepalingen, om vliegtuigwanden te controleren en in nucleaire batterijen waarin fotocellen licht omzetten in stroom.

Samarium (Sm) doet het dienst als neutronenvanger in nucleaire installaties. Het zit in bepaalde magneten, in glas (om infrarood licht beter te absorberen) en in de geneeskunde wordt de isotoop samarium-153 soms gebruikt bij de behandeling van patiënten met botkanker.

Europium (Eu) wordt vooral gebruikt als fosforescerende rode stof in beeldbuizen en lcd-schermen. Ook wordt het ingezet als antivervalsingsmateriaal in Europese bankbiljetten.

Gadolinium (Gd) wordt gebruikt in magneto-optische opnametechnologie. Het zit in de contrastvloeistof waarmee in ziekenhuizen kankercellen worden opgespoord en het wordt gebruikt in nucleaire aandrijfsystemen.

Terbium (Tb) wordt maar zeer beperkt toegepast. Het zit onder andere in energieefficiënte fluorescerende lampen. Ook bij magneto-optische data-opslag worden terbiumlegeringen gebruikt.

Dysprosium (Dy) wordt veel gebruikt in elektronica. Het hoge smeltpunt en het vermogen om neutronen te absorberen maken dat dysprosium ook wordt toegepast in nucleaire installaties. In combinatie met andere REE en vanadium wordt dysprosium gebruikt voor de vervaardiging van lasers.

Holmium (Ho) is zeer zeldzaam. Het aardmetaal beschikt over bijzondere magnetische eigenschappen en wordt voornamelijk gebruikt om een magnetisch veld in een bepaald gebied te concentreren. Ook dient holmium als neutronenvanger in nucleaire installaties.

Erbium (Er) is essentieel voor glasvezeldatatransmissie over lange afstanden. Het wordt veelal toegepast als fotografisch filter en in allerlei legeringen. Ook kan het net als holmium worden ingezet als neutronenvanger in nucleaire installaties.

Thulium (Tm) is het zeldzaamste (en het duurste) van de zeldzame aardmetalen. Het wordt voornamelijk gebruikt om lasers te maken.

Ytterbium (Yb) lijkt op yttrium. Onder hoge mechanische spanning neemt de elektrische weerstand sterk toe, waardoor je het goed kunt gebruiken om spanning te meten. Ytterbium wordt verder toegepast in bijvoorbeeld in glasvezelversterkers, fosforescerende stoffen en lasers.

Lutetium (Lu) is samen met thulium een van de zeldzaamste en duurste aardmetalen. Het wordt daarom slechts sporadisch gebruikt (als katalysator in de olieraffinage).

Waarom juist daar?

In de aardkorst zijn enorme hoeveelheden mineralen en elementen te vinden. Op sommige plekken zitten flinke voorraden en hoe hoger de concentratie, hoe interessanter het wordt om er een mijn te beginnen. Maar hoe zijn die concentraties ontstaan? Volgens Jack Voncken, geoloog aan de Technische Universiteit Delft, gebeurde dat op verschillende manieren. “Ertsen kunnen bijvoorbeeld magmatisch ontstaan. Metalen borrelen op in magma uit diepere delen van de aarde en worden door chemische processen gescheiden, waarna ze in geconcentreerde vorm in verschillende mineralen kristalliseren. Een veel grotere groep ertsen zijn de hydrothermale afzettingen. Als bijvoorbeeld graniet kristalliseert, kunnen sommige metaalionen daar vanwege hun afmeting niet ‘in’. Die blijven dus over en komen uiteindelijk in de waterige oplossing terecht die tijdens dat proces ontstaat. Doordat gestold gesteente meer plek inneemt dan gesmolten gesteente, komt die oplossing onder enorme druk te staan en ontstaan er scheuren en barsten in het gesteente in de buurt van het graniet (het nevengeesteente) waar die vloeistof dan in doordringt. Daar blijven de metalen dan vervolgens in achter. Maar het kan bijvoorbeeld ook gebeuren dat water onder invloed van warmte in een bepaald gesteente gaat circuleren. Daarbij worden metalen als het ware uitgespoeld en naar een andere plek getransporteerd waar ze dan in geconcentreerde vorm in mineralen terug te vinden zijn.”