

Chemische Feitelijkheden

#330

Editie 81

december 2016

Esther Thole

4K Curved OLED



Zeldzame aarden

Overal te vinden, maar nauwelijks zichtbaar

'Zeldzame aarden' zeldzaam? Niet echt eigenlijk, en daar begint de verwarring al. Deze bijzonder elementen komen over het algemeen veel voor, maar winning is lastig. De zeldzaamheid slaat eerder op de toepassing, die je door de vaak kleine hoeveelheden en geringe bekendheid makkelijk over het hoofd zou kunnen zien.

Dat is niet terecht, want onze moderne samenleving draait op deze materialen, die we beter kunnen aanduiden met hun chemische naam lanthaniden. Hun veelal unieke eigenschap-

pen maken ze geschikt – en in veel gevallen zelfs cruciaal – voor toepassing in moderne micro-elektronica en elektrische apparatuur. Ook veel duurzame technologie – katalysatoren, windturbines – kan niet zonder lanthaniden.

Wat betreft dat laatste wringt het wel een beetje: de lastige winning van lanthaniden is bijzonder belastend voor het milieu, zowel qua directe afgraving als qua energiekosten. Verschillende initiatieven voor recycling en duurzame winning komen mondjesmaat van de grond.

Overal te vinden, maar nauwelijks zichtbaar

In onze moderne samenleving zijn de geheimzinnige ‘zeldzame aarden’ niet meer weg te denken. Deze unieke chemische verbindingen vinden hun weg in moderne elektronica en in een duurzamer wordende samenleving. Alleen die winning en scheiding – lastig en energievretend – vormen een grote uitdaging.

De hele chemie draait om de verschillen tussen elementen. Minimale verschillen, zoals een elektron en proton meer of minder, kunnen tot compleet andere eigenschappen leiden. Dankzij het periodiek systeem weten chemici waar een element ‘staat’ als het gaat om chemisch gedrag. Gaat het gemakkelijk bindingen aan? Of is het juist totaal onwillig om te reageren? Zuigt het elektronen aan of geeft het ze makkelijk prijs? Allemaal weetjes die de chemicus nodig heeft om reacties te plannen, te voorspellen en uit te voeren. Het periodiek systeem maakt een prachtig gestructureerde indruk die de chemicus helpt bij zijn keuze. Vaste volgorde, een heldere onderverdeling in groepen en blokken en voor alle elementen een even groot vakje. Want ze zijn allemaal even belangrijk. Maar zo harmonieus is het toch niet. Er is een setje elementen dat er vaak een beetje bijhangt. De nummers 57 tot en met 71 en 89 tot en met 103 zien we meestal als twee losgeknipte rijen onderaan bungelen. Ze horen er wel bij, maar krijgen geen plaats op het hoofdpodium. Deze verschoppelingen zijn de lanthaniden en de actiniden. Het radioactieve karakter van de actiniden maakt dat we die liever uit de weg gaan. Maar de lanthaniden, samen met de elementen scandium (Sc) en yt-

trium (Y) ook bekend als ‘zeldzame aardmetalen’, zijn volledig geïntegreerd in allerlei gangbare producten.

Er zijn vijftien lanthaniden: lanthaan (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb) en lutetium (Lu). Ze klinken exotisch, maar ze zijn veel meer onderdeel van ons dagelijks leven dan de meesten van ons beseffen. Energiezuinige lampen? Dankzij europium. Turbines voor het opwekken van windenergie? Dankzij neodymium. Schone uitlaatgassen? Dankzij cerium. Hoogste tijd voor een grondige kennisgeving met deze zeldzame aardmetalen.

Niet zeldzaam, maar verborgen

Eerst maar die naam: zeldzame aardmetalen. Die zet iedereen op het verkeerde been, want zeldzaam zijn ze allerm minst. Er zitten meer lanthaniden in de aardkorst dan bekende namen als zilver, goud en platina. Cerium bijvoorbeeld, is de nummer 29 van meest voorkomende elementen op aarde en staat daarmee vlakbij veelvoorkomende elementen als koper en zink. Zelfs het meest

zeldzame aardmetaal, thulium, komt ruim honderd keer meer voor dan goud.

De meer chemische benaming, lanthaniden, past eigenlijk veel beter. Die is afgeleid van het Griekse lanthanein dat ‘verborgen’ betekent. En dat zijn ze wel degelijk. De lanthaniden komen heel veel voor, maar ze zijn zo breed verspreid dat de lokale concentraties heel laag zijn. Bovendien zitten ze letterlijk verstopt in verschillende mineralen en meestal ook nog in combinatie met andere lanthaniden.

Turbines en tablets

Als klap op de vuurpijl zijn de lanthaniden in chemisch opzicht zo sterk gelijkend, dat normale scheidingsmethodes niet werken. Je moet heel veel moeite doen om een individueel lanthanide in handen te krijgen. De reden dat we toch zoveel tijd en geld besteden aan het winnen van lanthaniden en dat wereldmachten elkaar strikt in de gaten houden als het gaat om de winning, export en mogelijke handelsbelemmeringen van deze verborgen elementen, ligt in hun unieke en zeer nuttige eigenschappen. De lanthaniden onderscheiden zich op twee vlakken: ze hebben een extreem hoog magnetisch moment en ze zijn een krachtige bron van veel verschillende kleuren licht. Hun magnetische eigenschappen zijn



In één moderne windturbine zit een ton aan zeldzame aarden, met name neodymium voor de magneet.

► Helder glas en schoner uitlaatgas

Als het gaat over zeldzame aardmetalen komen al snel de toepassingen in magneten, lampen, computers en displays naar voren.

Maar je kunt ze voor nog veel meer nuttigs gebruiken en sommige van die toepassingen nemen zelfs een groot deel van de jaarproductie voor hun rekening.

Zo is de glasindustrie een grootverbruiker van ceriumoxide, dat heel goed werkt om glas te ontkleuren, te polijsten en van een beschermende coating te voorzien.

Cerium is ook cruciaal voor de auto-industrie en dan specifiek als katalysator voor omzetten van schadelijke stikstofoxides in de uitlaatgassen. Lanthaan vinden we in de accu's van elektrische auto's en in combinatie met nikkel, in draagbare en oplaadbare batterijen van telefoons en tablets.

Erbium is belangrijk als dotering in de kern van glasvezels voor communicatietoepassingen, terwijl samarium specifiek wordt gebruikt voor magneten voor de ruimtevaart. En daar in de ruimte komt ook gadolinium om de hoek kijken. Van alle elementen heeft gadolinium de hoogste afvangcapaciteit voor neutronen en is daarmee bij uitstek geschikt om satellieten te beschermen tegen schadelijke straling.

zeer gewild voor de productie van permanente magneten in bijvoorbeeld turbines in windmolens, elektromotoren en computers. De optische eigenschappen zijn cruciaal voor energiezuinige lampen, medische beeldvorming, satellietcommunicatie en de led-beeldschermen en lcd's van televisies, tablets en telefoons. Allemaal grote en nog steeds groeiende markten die volop in ontwikkeling zijn door de toenemende behoefte aan duurzame, energiezuinige producten die tegelijkertijd volop inspelen op de wensen van de moderne consument.

Afdalen in het atoom

Om te begrijpen waar die aantrekkelijke magnetische en optische eigenschappen vandaan komen, moeten we de atomaire

Zeldzame aarden

structuur van de lanthaniden bekijken. Daar is namelijk iets bijzonders mee aan de hand.

Terug naar het periodiek systeem. Dat rangschikt de elementen op basis van hun atomaire opbouw en groepeerd ze op basis van hun chemische eigenschappen. Atomen bestaan uit een kern van protonen en neutronen met daaromheen elektronen die zich bevinden in de zogeheten orbitalen, die het best te omschrijven zijn als strikt afgebakende energieniveaus of energieschillen. In iedere orbitaal kunnen zich maximaal twee elektronen bevinden, waarbij hun spins ('draairichting') tegengesteld moeten zijn.

Er zijn verschillende typen orbitalen die worden aangeduid met een letter: s, p, d, f, en met een cijfer: 1, 2, 3, 4, 5, etc. De manier waarop de elektronen zich verdelen over de orbitalen is niet willekeurig, maar volgt een vaste volgorde. Dat begint bij 1s, dan 2s, dan 2p (drie orbitalen), dan 3s, 3p, 3d (vijf orbitalen), dan 4s, 4p, 4d, 4f (zeven orbitalen). Elektronen vullen eerst de orbitalen met de laagste energie en de volgorde waarin de orbitalen worden gevuld staat bekend als het Afbau-principe. Zijn er meerdere orbitalen van hetzelfde energieniveau (zoals bij p, d en f), dan gaat een elektron eerst in een lege orbitaal, totdat overal een enkel elektron in zit. De volgende elektro-



Bacteriën in de hete poelen op de Solfatara-vulkaan gebruiken lanthaniden als cofactor in enzymen.

nen vullen die orbitalen stapsgewijs op en pas als die allemaal vol zijn, kunnen elektronen een volgend type orbitaal vullen. Dus eerst 1s vullen, dan 2s, dan 2p enzovoort.

Het geheim: de 4f-binnenschil

Maar naarmate de atomen groter worden, komen de energieniveaus van de orbitalen dichter bij elkaar te liggen en kan het zijn dat een orbitaal met een hoger nummer toch een lager energieniveau heeft en daar-

om eerst wordt gevuld. Dit zien we vanaf de 3p-orbitalen. Zijn die gevuld, dan volgt eerst de 4s-orbitaal en pas daarna de 3d-orbitalen. Die verschuiving in volgorde gaat door en tegen de tijd dat we zijn aangekomen bij element nummer 56, barium, zijn de 5s, 5p en 6s-orbitalen gevuld, maar de 4f nog niet. Dat gebeurt vanaf nummer 57, lanthanum, de naamgever van de lanthaniden.

Nu komen we bij het bijzondere karakter van de lanthaniden. Want de inmiddels gevulde 5s-, 5p- en 6s-orbitalen bevinden zich ruimtelijk gezien verder van de kern dan de zeven 4f-orbitalen. Daarom spreken we ook wel van de 4f binnenschil. En omdat de bindingseigenschappen van een element worden bepaald door (veranderingen in) de elektronconfiguratie van de buitenste orbitalen, is hiermee meteen duidelijk waarom de lanthaniden in chemisch opzicht vrijwel gelijk zijn. Ze hebben dan wel een verschillend aantal elektronen, maar het aantal elektronen in de buitenste orbitalen verandert niet. Dus wat hun capaciteit voor het aangaan van chemische bindingen betreft, zijn lanthanum, die het eerste 4f-elektron krijgt, tot en met lutetium, nummer 71, die met het laatste van de veertien 4f-elektronen de binnenschil compleet maakt, identiek. Hetzelfde geldt voor de veertien actiniden in de rij precies onder de lanthaniden. Bij de actiniden wordt de 5f-binnenschil gevuld.

Period	Group 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uur	Uuu	Uuq	Uuh	Uus	Uuo
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		

In het periodiek systeem 'hangen de lanthaniden en actiniden er een beetje bij'.



Groot magnetisch moment

De gewilde eigenschappen van de lanthaniden liggen verborgen in die 4f-binnenschil. Voor alle orbitalen geldt dat in de energetisch meest gunstige configuratie, de grondtoestand, elektronen eerst alleen een orbitaal ingaan. Zijn er meerdere zogehe-ten ongepaarde elektronen, dan richten ze hun spins parallel. Pas wanneer alle orbitalen een elektron bevatten, komt er per orbitaal een tweede en laatste elektron bij met tegengestelde spin.

Hoe meer ongepaarde elektronen met parallele spin, hoe groter het magnetisch moment. Er zijn zeven 4f-orbitalen die in totaal veertien elektronen kunnen herbergen. Er zijn daarom tot zeven ongepaarde elektronen mogelijk, die allemaal een gelijkgerichte spin hebben. Dat zijn er veel meer dan bij de bekende magnetische elementen zoals ijzer en daarom zijn de lanthaniden gewild als bestanddeel van permanente magneten.

De markt voor dergelijke magneten is groot en groeit bovendien sterk dankzij de toenemende belangstelling voor duurzame energie en duurzame mobiliteit. Magneten zorgen voor de omzetting van bewegingsenergie in elektrische energie en vice versa. Ze zijn daarom cruciaal in turbines om de draaiing van windmolens om te zetten in elektrische stroom. Of in elektrische auto's om de elektrische stroom vanuit de batterij om te zetten in bewegingsenergie. Voor deze grote magne-

ten wordt meestal een combinatie van neodymium en ijzer gebruikt.

Neodymium (Nd) heeft een heel groot magnetisch moment, maar in pure vorm komt die magnetische kracht niet volledig tot zijn recht. Niet alleen moeten binnen een atoom de spins parallel staan, ook tussen de atomen moet er afstemming zijn. Voor een optimaal magnetisch effect moeten dus de spins van de ongepaarde elektronen in alle neodymiumatomen in een magneet gelijkstaan. Daarvoor is interactie tussen naastgelegen atomen nodig, maar die interactie is heel zwak bij alle lanthaniden. Dat is een nadeel van die 4f-binnenschil, die maakt slecht contact met andere atomen.

De oplossing: een ander magnetisch element toevoegen dat wel goed interacties kan aangaan, zoals ijzer. Dat heeft de ongepaarde elektronen in de buitenste orbitalen en is daardoor heel geschikt om voor koppeling van de magnetische spins te zorgen. Neodymium en ijzer vullen elkaar dus heel goed aan. Neodymium levert de magnetische kracht en ijzer zorgt ervoor dat die kracht van alle neodymiumatomen optimaal wordt benut. Vandaar dat je in permanente magneten meestal een combinatie van een lanthanide en een overgangsmetaal (ijzer of kobalt) aantreft. Naast neodymium zijn ook praseodymium, terbi-um en dysprosium in trek voor toepassing in de permanente magneten.

► Cerium voor een goede groei

In 2007 ontdekten Nederlandse microbiologen een nieuwe bacterie in de vulkanische modderpoelen bij de Solfatara, een nog actieve vulkaan in de buurt van Napels (foto hiernaast). Een opmerkelijke plaats voor een levend organisme, want het water in die poelen is behoorlijk heet (50-60 °C) en heel zuur (pH 2-5). Bacteriën die onder zulke extreme omstandigheden leven heten dan ook extremofielen. De modderpoelbacterie krijgt de naam *Methylococcus furiosus* SolV. Helaas is het heel lastig, of beter onmogelijk, om de bacterie in het laboratorium te laten groeien, ook al worden de natuurlijke condities zo goed mogelijk nagebootst. Totdat de onderzoekers meegebracht water uit de vulkanische poelen toevoegen aan het kweekmedium. De groeisnelheid van de bacteriën schiet meteen omhoog. Wat blijkt? De mineralen in het water uit de poelen bevatten hoge concentraties lanthaniden.

Na veel onderzoek wordt duidelijk dat de bacterie afhankelijk is van lanthanum, cerium, praseodymium en neodymium. Vooral cerium neemt de bacterie in grote hoeveelheden op. De bacterie gebruikt de lanthaniden, en dan met name cerium, als cofactor voor het enzym methanoldehydrogenase. Een cofactor is een hulpstof die ervoor zorgt dat een enzym goed kan functioneren. En methanoldehydrogenase is voor de bacterie essentieel omdat het de giftige stof methanol afbreekt.

Andere bacteriën gebruiken meestal calcium als cofactor, maar het was al langer bekend dat cerium die taken eigenlijk beter vervult. Maar door de zeer lage concentraties van cerium en de andere lanthaniden in de natuur zijn ze voor de meeste organismen nooit belangrijk geworden.

Behalve voor fijnproevers als *M. furiosus* SolV en vergelijkbare extremofielen. Zij weten de lanthaniden op waarde te schatten.

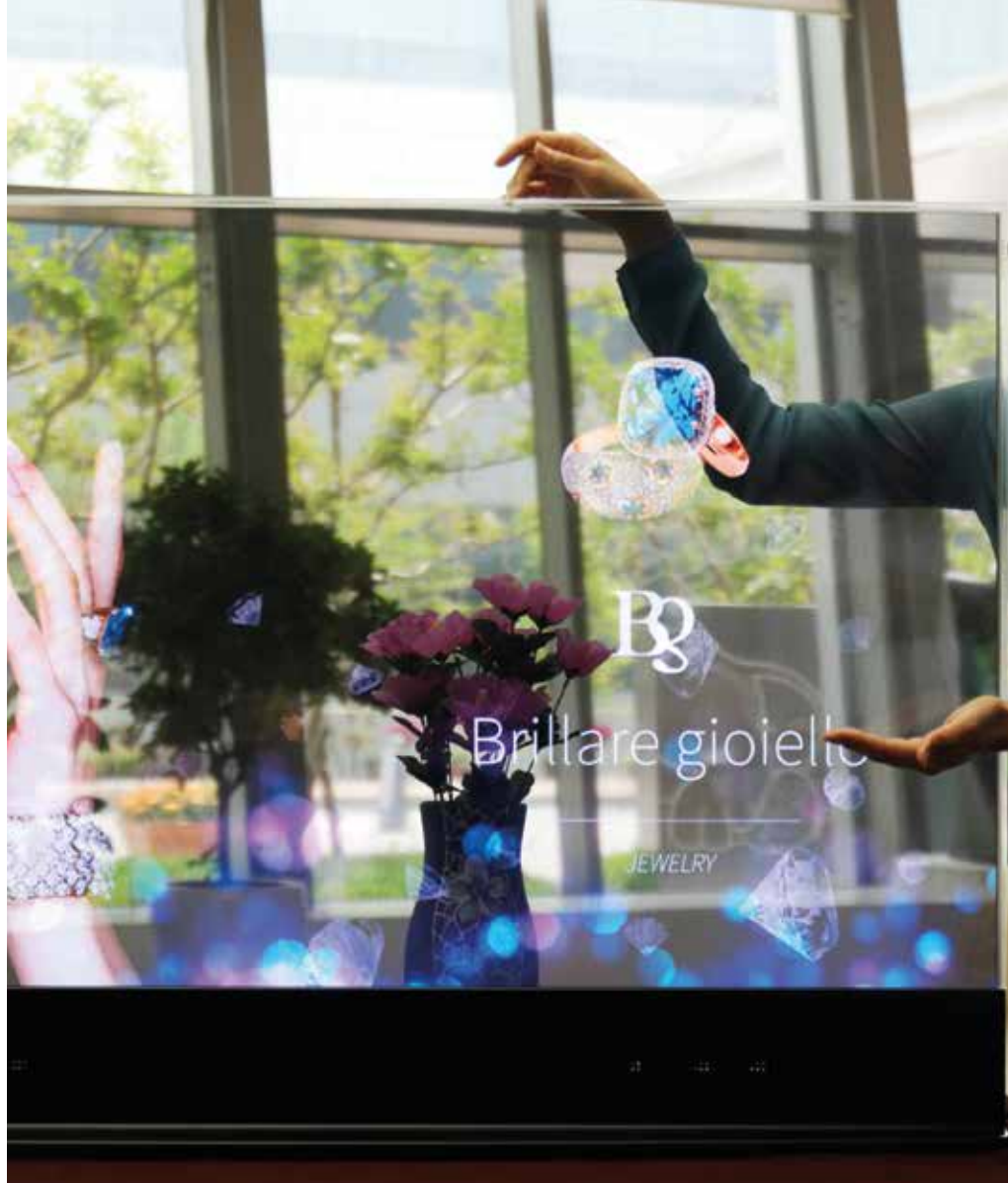
Eindeloos veel kleuren

Verlichting is een ander belangrijk toepassingsgebied van lanthaniden. Ook hier draait alles om de karakteristieke vulling van de 4f-binnenschil. De zeven 4f-orbitalen bieden samen veertien plaatsen die een elektron kan innemen. Dat geeft nogal wat verschillende mogelijkheden om een aantal elektronen over die orbitalen te verdelen. Neem bijvoorbeeld terbium. Dat heeft acht 4f-elektronen die elk een van die veertien plekken kunnen bezetten. In totaal levert dat maar liefst 3.003 verschillende manieren om die acht elektronen te verdelen binnen het atoom. En ieder van die verdelingen heeft een eigen, uniek energieniveau.

Uiteraard is er maar één grondtoestand: de verdeling waarvoor de energie het laagst is en die het element in zijn natuurlijke vorm aanneemt. Maar vanuit die grondtoestand kun je gericht het lanthanide-ion 'aanslaan'. Je voegt dan energie toe, waardoor de elektronen in de 4f-binnenschil in een energetisch minder gunstige verdeling terecht komen (een aangeslagen toestand). Omdat elektronensystemen altijd terug willen naar de grondtoestand, komt die toegevoegde energie weer vrij. Bij de lanthaniden komt die energie vrij in de vorm van licht: ze zijn luminescent. Zo'n terugval in energie heet een overgang en wordt gekenmerkt door een specifieke golflengte van het uitgezonden licht. De golflengte hangt af van het energieverval tussen aangeslagen toestand en grondtoestand en bepaalt de kleur van het licht. Door een lanthanide te kiezen met aangeslagen toestanden bij de juiste energie kun je heel gericht een gewenste kleur licht produceren.

Helder groen en warm rood

Niet alle overgangen leveren een bruikbare golflengte. Voor toepassing in lampen en beeldschermen is het cruciaal dat het menselijk oog het uitgezonden licht wel kan waarnemen. Is de golflengte te groot, dan spreken we van infrarode straling die we waarnemen als warmte. Is de golflengte te klein, dan produceren we ultraviolette straling, die schadelijk kan zijn. De lanthaniden bieden heel veel verschillende energieniveaus die een groot bereik beslaan: van infrarood licht via het zichtbare gebied tot straling in het (verre) ultraviolet spectrum en van alles daar tussenin.



Inmiddels is van alle lanthaniden precies bekend welke overgangen ze hebben en dus welke kleuren licht ze kunnen produceren. Terbium heeft bijvoorbeeld een heel duidelijke overgang bij een golflengte van 540 nm en dat zorgt voor helder, groen licht. Europium heeft meerdere relevante overgangen, waaronder een scherpe overgang bij 610 nm. Dat levert mooi rood licht dat goed in het gevoelige gebied van het oog valt.

Maar dit zijn slechts twee voorbeelden van de grote kleurenrijkdom die lanthaniden bieden. De mogelijkheden lijken eindeloos. Het belang van hun optische eigenschappen reikt echter verder. Duurzaamheid en dus energiebesparing is een drijvende kracht in de ontwikkeling van licht-gerelateerde producten. Lanthaniden zijn van alle elementen de meest efficiënte lichtproducenten. Met andere woorden: ze leveren een hoge lichtsterkte per toegevoegde hoeveelheid energie. In technische termen: ze leveren veel lumen (de eenheid van lichtsterkte) per watt (de eenheid van vermogen). Ter vergelijking: een klassieke gloeilamp levert rond de 10 lumen/watt, terwijl een lan-

thanide-bevattende witte led tot 150 lumen/watt levert. Een duidelijke stap voorwaarts in het besparen van energie.

Duurzame metalen?

Toch wringt het een beetje, dat gebruik van metalen voor duurzame producten. Want uiteindelijk zijn de lanthaniden ook gewoon 'ouderwetse', niet-hernieuwbare grondstoffen die we alleen kunnen verkrijgen door ze letterlijk uit de grond op te graven. Omdat de concentraties van lanthaniden zo laag zijn, moet je grote hoeveelheden gesteente verwerken voordat je een redelijke hoeveelheid in handen hebt. En dat gaat zeker niet op een duurzame manier, zo laat de ongekende milieuvervuiling rond de Chinese Bayan Obo mijn zien (zie het kader op pagina 7). Als we er vanuitgaan dat er geen duurzaam verkrijgbare alternatieven voor de lanthaniden zijn, zijn er twee manieren om de kwalijke gevolgen van de winning te beperken. De ene is recycling van lanthaniden. Daar werken tal van onderzoeksgroepen hard aan, maar vooralsnog is minder dan 1 % van de totale hoeveelheid lanthaniden die verwerkt zijn in magneten, afkomstig uit hergebruik.



Dat komt voornamelijk doordat producten die in aanmerking komen voor recycling – zoals permanente magneten – een lange levensduur hebben. Het aanbod van lanthaniden voor recycling is daarmee nog relatief beperkt. Een andere mogelijkheid is het verduurzamen van het productieproces. In de Californië (VS) wordt bij de Mountain

Pass mijn gewerkt aan milieuvriendelijke winning van lanthaniden, maar door de hogere kosten die dat met zich meebrengt is het lastig concurreren met de milieubelastende productie elders in de wereld.

Beter scheiden voor een betere wereld

Veel belangrijker zijn echter de grote technische problemen bij het scheiden van mengsels lanthaniden. En die problemen spelen zowel bij de winning als bij recycling een cruciale rol. Want juist datgene wat de lanthaniden als groep zo bijzonder maakt, namelijk hun identieke chemische karakter, zorgt er ook voor dat ze bijna niet uit elkaar te halen zijn. Klassieke scheidingsprocessen waarbij je bijvoorbeeld gebruikmaakt van verschillende bindingsvoorkeuren, werken bij de lanthaniden niet.

Een mogelijke oplossing is gebruik te maken van complexe moleculen die heel specifiek een type lanthanide kunnen wegvangen uit een mengsel. Maar ook dit zal een intensief proces worden als je meer dan twee soorten lanthaniden wil scheiden. Nieuwe, betaalbare en ‘groene’ scheidingstechnieken zijn daarom onontbeerlijk. Niet voor niets benoemde het toonaangevende wetenschappelijke tijdschrift *Nature* onlangs het scheiden van lanthaniden tot ‘één van de zeven scheidingstechnologieën die nodig zijn om de wereld te veranderen’. Willen de lanthaniden hun duurzame belofte waarmaken, dan moeten we zorgen dat ze het stempel ‘zeldzaam’ op geen enkele manier meer verdienen. ●

Naam	Toepassingen
Yttrium	lasers, YBCO-hogetemperatuur-supergeleiders, spaarlampen, bougies, anti-kankermiddelen
Lanthanum	versterkt glas, waterstoftanks, elektrodes, camera- en microscoop-objectieven
Cerium	gele kleurstof in glas en keramiek, polijstmiddelen, katalysatoren in kraakinstallaties
Praseodymium	lasers, permanent-magneten, kleurstof in glas en verf, lasbrillen
Neodymium	lasers, permanent-magneten, keramische condensatoren, microfoons
Europium	lasers, rode en blauwe fosfors, kwiklampen, spaarlampen
Gadolinium	lasers, bescherming tegen radioactiviteit, glas met hoge brekingsindex, computergeheugen, MRI-contrastmiddelen
Holmium	lasers, optische spectrometers, permanent-magneten
Erbium	infraroodlasers, glasvezel-datacommunicatie
Ytterbium	PET-scanners, chemische reductor, roestvast staal, nucleaire geneeskunde

► Meren vol zwavelzuur

Om aan zeldzame aardmetalen te komen, moet je de grond in. Daar zijn ze te vinden als bestanddeel van verschillende mineralen. De Bayan Obo-mijn in Binnen-Mongolië (Noord-China) is veruit de grootste productielocatie van lanthaniden wereldwijd. Ongeveer 45 % van de wereldproductie komt uit deze mijn. Het gehalte aan lanthaniden in het Bayan Obo-gesteente is met 3-6 % hoger dan in veel andere bekende bronnen. Winning gaat niet zachtzinnig; alleen met flinke hoeveelheden sterk zuur lukt het om de lanthaniden uit de mineralen op te lossen. Bovendien zitten er veel verschillende lanthaniden in de mineralen en het scheiden daarvan naar de individuele elementen is technisch heel lastig. De gevolgen laten zich niet moeilijk raden: het kost veel energie, vraagt grote productievolumes en levert heel veel, deels radioactief, afval. Volgens berekeningen van de Chinese Society of Rare Earths gaat de productie van een ton (1.000 kg lanthaniden gepaard met 10.000-12.000 m³ afvalgas vol fijnstof, zwaveldioxide en andere vervuilingen, 75.000 l zuur afvalwater en ook nog eens een ton radioactief afval, dat vooral thorium bevat. Ter vergelijking: in een turbine met een vermogen van 3 MW, een gangbaar vermogen voor windmolens, zit ongeveer een ton aan lanthaniden verwerkt. Voeg daar nog aan toe dat de druk op de kosten heel groot is, want China wil graag de belangrijkste producent blijven. Het gevolg is dat het afval gewoon wordt gedumpt naast de mijnen. Satellietbeelden gemaakt door het NASA Observatory (foto hieronder) laten de omvang van het probleem goed zien. De open mijnen (donkergrijs) zijn enkele kilometers groot, maar daaromheen liggen minstens zo grote open dumpplaatsen voor al het afval. Het extreem zure afvalwater, het overgebleven vermalen gesteente en het radioactieve restmateriaal vormt samen een dikke modderachtige stroom (donkerbruin) die continu richting deze nieuwe meren wordt gepompt.





Dit zie je als je een biljet van € 20 onder een uv-lamp houdt: oplichtende sterren en kleine sliertjes. Het is een teken dat je met een echt biljet hebt te maken. Verantwoordelijk voor deze kleurige beveiliging is, heel toepasselijk, het element europium (Eu).

Meer weten

- <http://mrddata.usgs.gov/mineral-resources/ree.html>: Interactieve kaart met veel informatie over vindplaatsen van mineralen van de US Geological Survey.
- <http://geology.com/articles/rare-earth-elements>: Zeer uitgebreide website met informatie over alle aspecten van zeldzame aarden; goed startpunt voor verdieping na deze editie van Chemische Feitelijkheden.
- <https://www.knaw.nl/nl/actueel/agenda/magisch-licht>: Presentatie van prof. Andries Meijerink over licht 'maken' door de eeuwen heen, inclusief moderne led-technieken.
- <http://www.bbc.com/future/story/20150402-the-worst-place-on-earth>: Longread over de vervuiling bij de Bayan Obo mijn.
- <http://www.mdpi.com/2079-9276/3/4/614/html>
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674987115001310>: Wetenschappelijke publicatie in *Resources* over het winnen van zeldzame aarden en de invloed daarvan op de omgeving.

Editie

Zeldzame aarden

editie 81 | nummer 330 | december 2016
www.chemischefeitelijkheden.nl
coverbeeld: oleds zitten vol zeldzame aarden

Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

Redactie
KNCV BETA PUBLISHERS

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur), Esther Thole (tekst)

Vormgeving & Opmaak

Marije van de Linde/Twin Media BV

Uitgever

Roeland Dobbelaer, Bèta Publishers BV

Postbus 19949, 2500 CX Den Haag

070-2629100, info@betapublishers.nl

Abonnementen

MijnTijdschrift.com

088-2266626

chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

Tarieven (2016)

Voor particulieren: online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 87,75*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 262,50*. Losse nummers kosten € 9,95* per stuk en zijn te bestellen bij Abonnementenland.

* Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.